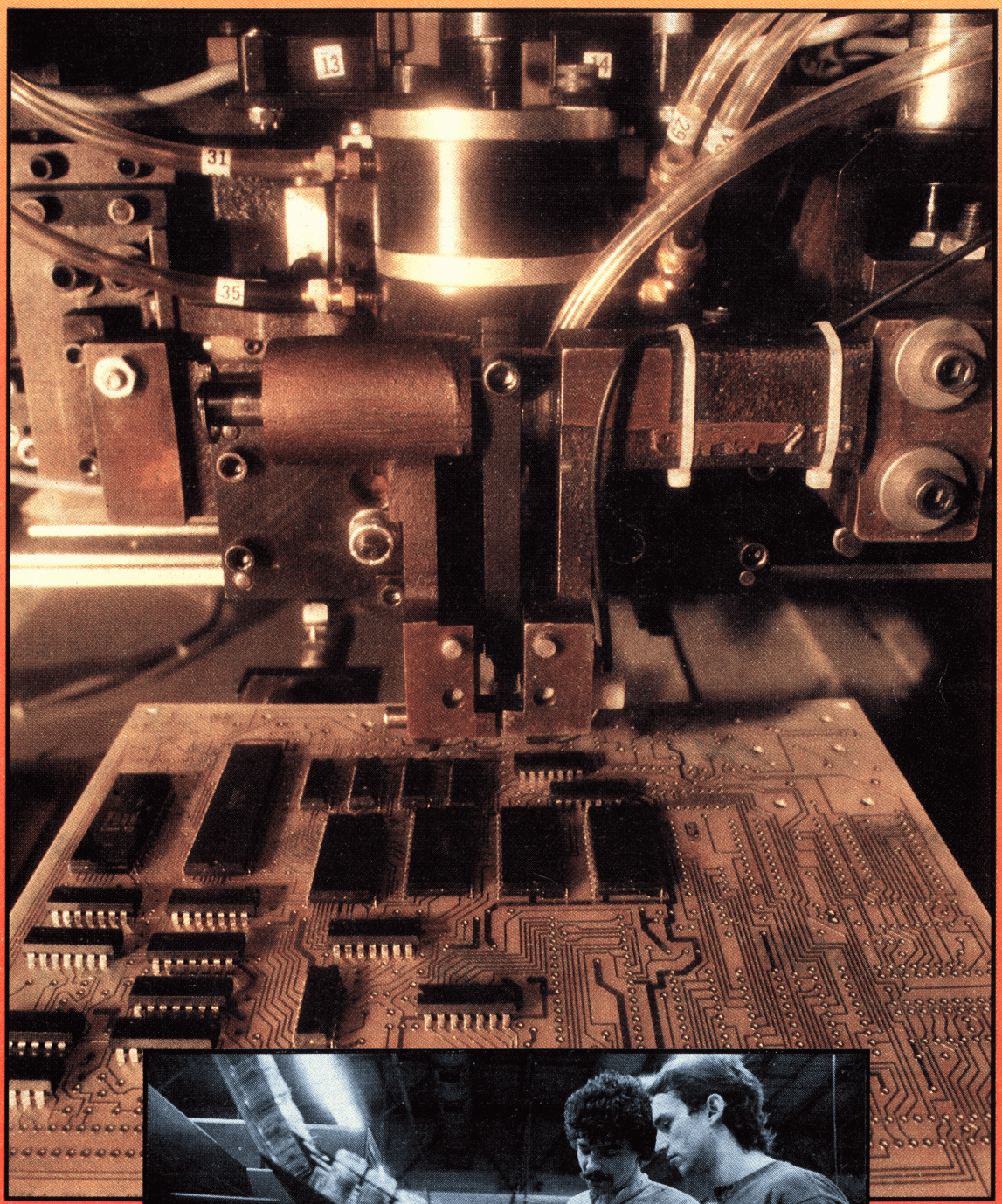
ELEKTRIE 9|89

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN · Postverlagsort für DDR Leipzig · EVP 2,50 Mark · ISSN 0013—5399



40 Jahre DDR
40 Jahre EAB

Ein Betrieb im Wandel

0120228

Auslieferung in diesen Tagen

Experimentelle Prozeßanalyse

Von Prof. Dr. sc. techn. Jürgen Wernstedt.
1. Auflage. 392 Seiten, 242 Bilder, 139 Tafeln, Leinen, DDR 40,— M, Ausland 50,— DM.
Bestellangaben: 554 069 2/Wernstedt, Prozeßanalyse

Die mathematische Abbildung des Verhaltens von Signalen und Systemen in Modellen ist eine der wesentlichsten Strategien zum Erkennen von Wirkungsmechanismen und zur rechnergestützten Lösung von Entwurfs-, Diagnose-, Überwachungs-, Steuerungs-, Vorhersage- und Planungsaufgaben in technischen und nichttechnischen Prozessen. Zur Bildung von Modellen haben die Methoden der experimentellen Prozeßanalyse, die auf gemessenen Daten aufbauen, eine sehr breite Anwendung gefunden.
Auf der Basis einer einheitlichen Darstellung von Modellen und Verfahren werden Grundlagen zur Beschreibung des statischen und dynamischen Verhaltens von Signalen in Signalmodellen sowie ausgewählte Verfahren zur Signalaufbereitung vorgestellt.
Wesentliche Schätzverfahren zur Bildung von Systemmodellen werden bei der Beschreibung des statischen Eingangs-/Ausgangsverhaltens untersucht und allgemeingültige Aussagen abgeleitet. Weiterhin werden Probleme der Echtzeitmodellbildung und der optimalen Versuchsplanung behandelt.
Zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens in ungestörten Systemen werden einfache robuste Verfahren im Zeit- und Frequenzbereich sowie die Zustandsermittlung mittels Beobachter dargelegt. Für gestörte Systeme wird auf die Ermittlung von Modellen in Form von Volterra-Reihen- und von Differenzengleichungen eingegangen. Für Zustandsmodelle werden spezielle Filterverfahren (Kalman-Bucy-Filter) hergeleitet. Ausgewählte Probleme der Anwendung von Schätzverfahren zur Bildung dynamischer Systemmodelle (Entwurf optimaler Testsignalfolgen, Schätzung in geschlossenen Ketten, Strukturprüfungsverfahren, Wahl der Tastperiode) ergänzen die grundsätzlichen Betrachtungen.
Der dargelegte Stoff ist in jedem Abschnitt durch Übungsaufgaben und Demonstrationsbeispiele ergänzt und illustriert.
Sowohl Absolventen als auch Studenten der Ingenieurwissenschaften, aber auch Naturwissenschaftlern, Medizinern, Landwirten und Ökonomen werden in diesem Buch die Grundlagen vermittelt, die zur rechnergestützten Ermittlung von Signal- und Systemmodellen aus gemessenen Daten erforderlich sind.

Übersicht der Hauptabschnitte:

Einführung · Beschreibung des Amplitudenverhaltens von Signalen · Beschreibung des dynamischen Verhaltens von Signalen · Bestimmung des dynamischen Verhaltens ungestörter Systeme · Bestimmung des statischen Verhaltens von gestörten Systemen · Bestimmung des dynamischen Verhaltens gestörter Systeme · Lösung der Übungsaufgaben.

Logischer Entwurf binärer Systeme

Von Prof. Dr. sc. techn. Hans Joachim Zander.
3., bearbeitete Auflage. 280 Seiten, 229 Bilder, Leinen, DDR 36,— M, Ausland 40,— DM.
Bestellangaben: 553 925 3/Zander, Entwurf

Die Anwendung binärer Systeme erfaßt nahezu alle Bereiche der Industrie. Die Bearbeitung berücksichtigt die moderne Gerätetechnik. Ein Kapitel mit der Beschreibung diskreter Prozesse und binärer Systeme durch Petri-Netze wurde aufgenommen.

Das Buch wendet sich sowohl an Ingenieure in Forschung, Entwicklung und Betrieb als auch an Studenten.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

9|89 ELEKTRIE

43. Jahrgang

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift der Elektrotechnik

ISSN 0013–5399

Organ des Fachverbands Elektrotechnik der Kammer der Technik

Die Zeitschrift erhielt die Goldene Ehrenplakette der KDT

Redaktionsbeirat

Vorsitzender:

Prof. Dr. sc. techn. J. Vogel

Mitglieder:

Prof. Dr. sc. techn. S. Altmann · Prof. Dr. sc. techn. H. Böhme · Prof. Dr. sc. techn. Dr. h. c. P.-K. Budig Dr. sc. techn. G. Burkhard Dr.-Ing. D. Flügge Obering. K. Friedel · Prof. Dr. sc. techn. J. Hoffmann Dipl.-Ing. H. Kabisch · Prof. Dr.-Ing. habil. R. Lappe · Dr. rer. nat. K. Möbius · Prof. Dr. sc. techn. E. Muschick Prof. Dr. sc. techn. V. Pfeiler · Prof. Dr.-Ing. e.h. K. Pommer Prof. Dr.-Ing. habil. R. Schönfeld · Obering. Dipl.-Ing. N. Wass · Prof. Dr.-Ing. habil. G.Wunsch

Korrespondenten:

Dr.-Ing. Hannella, Ilmenau Dr.-Ing. W. Jordan, Dresden

Titelbild

Mit den nunmehr 40 Jahren des volkseigenen Elektroanlagenbaus wurde und wird eine Tradition fortgesetzt, die in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts begann. Der schnellen Entwicklung von Technik und Technologie fühlen sich die Werktätigen des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin in besonderem Maße verpflichtet.
Die Bilder zeigen Bestückungsautomaten für Schaltkreise und axiale Bauelemente.

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Träger des Ordens Banner der Arbeit

Inhalt

Seite

Aktuelle Information 322

Brandt, H.

Was haben alte Verlängerungsschnüre mit neuer Mikroelektronik zu tun? 323

Bödeker, K.

VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin — 40 Jahre volkseigener Elektroanlagenbau 324

Fachaufsätze

Reiche, H.; Vogel, J.

Projektierungssoftware VEM prodrive für elektrische Antriebe — Ergebnis der Wissenschaftskooperation 325

Habiger, E.; Hammer, V.

CAD-basierte Programmierung und Inbetriebnahme speicherprogrammierbarer Steuerungen auf der Grundlage nutzerorientierter graphischer Eingabefachsprachen 330

Rothe, K.; Herrmann. H.-J.

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem — Verarbeitungsprinzipien und Grundstrukturen 333

Kunke, W.; Meyer, G.; Neumann, R.; Wächter, R.

Rechnergestützter Entwurf und Implementierung von Automatisierungssoftware 337

Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Tschernenko, P. A.

Probabilistische Modelle für die Auslegung und Optimierung von Elektroenergieanlagen 432

Schmidt, H.; Beer, F.; Kuhl, J.

Mathematische Modellierung der Bewegungsvorgänge am Vakuumschütz EVS 344

Schult, U.

Neuer permanenterregter Motor kleiner Leistung 347

Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.

Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger Freileitungssysteme — Modellbildung 350

Umschau

Nachruf für Prof. Dr.-Ing. Horst Peschel 353

Fachtagungen 353

Patente 353

Dissertationen 355

Buchbesprechungen 357

AKTUELLE INFORMATION

35. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

Zeit: 22. bis 26. Oktober 1990
Ort: Technische Hochschule Ilmenau

Veranstalter: TH Ilmenau, Sektion Informationstechnik und Theoretische Elektrotechnik; Sektion Physik und Technik elektronischer Bauelemente

Inhaltliche Schwerpunkte:

- **Elektromagnetische Felder (A1)**
  - Theorie des elektromagnetischen Feldes und analytische Lösungsverfahren
  - Numerische Methoden; CAD
  - Probleme der Feldsynthese
  - Anwendungen in Elektromechanik, Elektronik/Sensorik, Biomedizin
  - Felder und Wellen in Mikrowellenschaltungen und ausgedehnten Medien
- **Nichtlineare Netzwerke/Systeme (A2)**
  - Netzwerktheorie
  - Analyse und Synthese von Netzwerken mit verteilten und konzentrierten Parametern
  - Modellierung/Simulation und Phänomene dynamischer Netzwerke/Systeme
- **Neue physikalische Wirkprinzipien (A3)**
  - Modellierung physikalischer Phänomene in der Elektronik/Sensorik
  - Anwendungen in der Kryomikroelektronik
  - Anwendungen zum Mikromagnetismus
- **Digitale Signalverarbeitung und -erkennung (A4)**
  - Methoden und Algorithmen: Analyse, Synthese, Filterung, Transformation, Merkmalsextraktion und -klassifikation, Quantisierung und Codierung
  - Technische Realisierungen: Signal- und Spezialprozessoren, Entwicklungswerkzeuge
  - Applikation: Redundanzmindernde Codierung, Signal- und Mustererkennung, Meßdatenverarbeitung
- **Automatische Meßsysteme (A5)**
  - Computergestützte Meßwerterfassung
  - Meßcomputer: Hard- und Softwareprobleme, Betriebssysteme, Bedienstrategien, Grafikverarbeitung, Hochsprachenkonzepte, Meßgerätesteuerung, Spezialprozessoren
  - Applikation: Signal- und Systemkenngrößen im Zeit- und Frequenzbereich, Meßwertkorrektur
- **Optische Kommunikationstechnik (A6)**
  - Lichtwellenleiter und Bauelemente
  - Lichtwellenleiter-Systeme und Baugruppen
  - Optischer Überlagerungsempfang
  - Lichtwellenleiter-Meßtechnik
- **Vermittlungstechnik im ISDN (A7)**
  - Entwicklungstendenzen und Einführungsstrategien
  - Zeichengabeprotokolle
  - Zeichengabenetz und Transaktionsdienste
- **Mikrowellentechnik (A8)**
  - Mikrowellenschaltungen: Analyse, Entwurf (CAD), Realisierung von Schaltungen und Bausteinen
  - Mikrowellenmeßtechnik: Messung und Prüfung von Bauelemente- und Schaltungskennwerten und von Werkstoffkenngrößen, Messung nichtelektrischer Größen
  - Radiometrie und Fernerkundung
  - Prozeßmeßtechnik
- **Funktechnik (A9)**
  - Richtfunktechnik
  - Satellitenfunktechnik
- **Elektroniktechnologie (A10)**
  - SMD-Technologie
  - Verfahren und Ausrüstungen zur Montage und Prüfung von SMD-Leiterplatten und Hybridschaltkreisen
  - Hybridtechnologie, insbesondere Dickschichttechnologie
- **Computergestützte Konstruktion (A11)**
  - Leiterplatten auf PC-Basis
  - Hybridschaltkreise auf PC-Basis
- **Computergestützte Bildverarbeitung und visuelle Inspektion (A12)**
  - Systeme der Bildverarbeitung: Bildaufnahmesysteme, Videosignalverarbeitung, Spezialprozessoren, Rechnerarchitekturen
  - Algorithmen der Bildverarbeitung: Bildvorverarbeitung, Bilddatenauswertung, wissensbasierte Systeme
  - Anwendungsprobleme: interaktive Bildverarbeitung, automatische Bildverarbeitung, Bildverarbeitung in der Elektroniktechnologie
- **Schaltkreisentwurf (AB1)**
  - Entwurf von ASICs
  - Entwurf von Speichern
  - Entwurfssoftware für Schaltkreise
- **Computergestützte Ingenieurausbildung (AB2)**
  - Computer zur Führung/Unterstützung von Aneignungstätigkeit, z.B. in der Übung, Laborarbeit u.a.
  - Computer zur Simulation von Wirkungsweisen und Modellierung von Verhalten technischer Gebilde
  - Intelligente computergestützte Lehrsysteme: Konzepte, Realisierungen, Erfahrungen
- **Oberflächen-, Grenzflächen- und Isolatorphysik (B1)**
  - Oberflächen und Halbleiter-Heterogrenzflächen
  - Halbleiter-Isolator-Grenzflächen
  - Atomare und elektronische Struktur von Grenzflächen und Isolatoren
  - Degradation und dielektrischer Durchbruch von Isolatorschichten
- **Optische Eigenschaften von Halbleitern, dünnen Schichten und Schichtstrukturen (B2)**
  - Elektroreflexion und andere optische Methoden
  - Oberflächenanregung und geführte Moden
  - Quantum-Well-Strukturen
- **Defekte in Halbleitern und ihre technologischen Auswirkungen (B3)**
  - Eigenstörstellen
  - Dotanten und andere Fremdstörstellen
  - Defektkomplexe und -cluster
  - Defekte im technologischen Prozeß
- **Physikalische Grundlagen, innere Elektronik und Technologie von A_{III} B_V-Bauelementen und -Schaltkreisen (B4)**
  - Inversionsschichten und 2D-Elektronengas
  - Streuprozesse und Transporteigenschaften
  - Heterostrukturen und Supergitter
  - MESFET, HEMT und andere $A_{III}B_V$-Bauelemente
  - Mikro- und optoelektronische $A_{III}B_V$-Schaltkreise
- **Siliciumschaltkreiselektronik und -technologie (B5)**
  - Wirkprinzipien integrierter Elemente
  - Integrierte Elemente und Speicherzellen, besonders von VLSI- und ULSI-Schaltkreisen
  - BICMOS-Elektronik und -Technologie
  - Si-Schaltkreistechnologien
  - Schnelle thermische Prozesse für moderne Technologien (RTP, RTO)
  - CVD-Prozesse für VLSI
- **MIS-Leistungselektronik (B6)**
  - Intelligente Leistungsschaltkreise (smart power devices)
  - Hochvoltschaltkreise
  - MIS-Leistungstransistoren und abschaltbare Thyristoren (GTO)
  - Bipolar- und MIS-Wirkprinzipien in Leistungsbauelementen und -schaltkreisen
- **Prozeß- und Bauelementemodellierung (B7)**
  - Neue Programmsysteme und Simulattionsergebnisse für VLSI-Technologien und -Bauelemente
  - Effektive mathematische und numerische Verfahren
  - Besonderheiten der 3D-Modellierung
  - Anwendung neuer physikalischer Modelle
  - Statistische Verfahren
- **Kontakt- und Leitbahnsysteme (B8)**
  - Werkstoffprobleme in der VLSI-Technik
  - Dünnschichtdiffusion, Diffusionsbarrieren
  - Elektromigration
  - Bildungsmechanismen und Eigenschaften von Siliciden
  - Prüf- und Meßtechnik
- **Akustoelektronik (B9)**
  - Ausbreitung von akustischen Oberflächenwellen
  - Neuartige akustische Bauelementekonzeptionen
  - Sensoren auf der Grundlage von akustischen Oberflächenwellen
- **Anwendung von Analysemethoden in der Mikroelektronik (B10)**
  - Strukturanalyse
  - Analyse mittels AES, ESMA, RBS, SIMS und SEA
  - Neue Analysemethoden
- **Erzeugung und Messung optischer Strahlung (B11)**
  - Lampen- und Strahlerentwicklung
  - Technologie und Betrieb von Lampen und Strahlern
  - Meßtechnik für optoelektronische Bauelemente, Lampen und Strahler
  - Meßtechnik für Leuchten und Beleuchtungssysteme
  - Strahlungsempfänger, optoelektronische Bauelemente, Wirkprinzipien und Technologien
- **Anwendung von Licht und optischer Strahlung (B12)**
  - Beleuchtungstechnik
  - Physio-psychologische Grundlagen
  - Techniken und Technologien mit Anwendung optischer Strahlung

Anfragen

Technische Hochschule Ilmenau
35. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium
Vorbereitungskomitee
PSF 327
Ilmenau, 6300

B. Friedrich, Ilmenau

EK 4010

Was haben alte Verlängerungsschnüre mit neuer Mikroelektronik zu tun?

Von

Ing. Heinz Brandt,

Generaldirektor des
VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau

In den vergangenen Wochen war im Stammbetrieb des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau vielfach von alten Verlängerungsschnüren und neuer Mikroelektronik die Rede. Wir begingen Mitte August das vierzigjährige Jubiläum des VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (EAB). Anlaß für viele Kollektive, sich der in vier Jahrzehnten gemeinsam zurückgelegten Wegstrecke zu erinnern. Fazit: Die Werktätigen des EAB sind stolz, mit der Geschichte ihres Betriebes auch ein Stück der Geschichte der DDR mitgeschrieben zu haben. Es gibt kaum einen Industriezweig, in dem die EAB-Belegschaft in den vergangenen vierzig Jahren nicht ihre Spuren hinterlassen hat. Begonnen wurde mit Herstellung starkstromtechnischer Anlagen und Ausrüstungen für kleinere Betriebe sowie mit der Produktion von Verlängerungsschnüren, die von der Bevölkerung 1949 dringend gebraucht wurden. Dann folgten elektrotechnische Anlagen für Kraft-, Zement- und Walzwerke, Antriebssteuerungen für den Be- und Verarbeitungsmaschinenbau sowie eine breite Palette von Erzeugnissen der Stromrichtertechnik. Heute genießt der VEB EAB in mehr als 60 Ländern auf vier Kontinenten einen guten Ruf. Ihn zu erhalten und zu mehren ist ein Anliegen, dem sich das Betriebskollektiv verpflichtet fühlt.

Zu unserem Jubiläum haben wir jedoch nicht nur Rückschau gehalten, sondern auch neue Ziele ins Visier genommen. Schlüsseltechnologien wie die Mikroelektronik noch schneller und umfassender sowohl im eigenen Betrieb als für unsere Produkte zu nutzen, das ist eines der wichtigsten Ziele. Jüngste Erzeugnisse aus dem VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin wie der Industriecomputer Automatisierung, speicherprogrammierbare Steuerungen, dem Stromrichter DTO-digital und Konsumgüter wie der EAB-Telefonanrufbeantworter Comotron TC 600 zeigen anschaulich, daß wir den Wandel vom starkstromtechnischen Betrieb zum Produzenten von Automatisierungsanlagen und -geräten mit einem hohen Anteil Mikroelektronik bewältigen.

Dieser Wandel im Profil des Stammbetriebes unseres Kombinates ist notwendig, um den Anforderungen der DDR-Volkswirtschaft und des internationalen Marktes, den unterschiedlichen Bedürfnissen unserer Kunden immer besser gerecht zu werden. Um das zu können, stellen wir uns immer mehr „auf die eigenen Füße". Um kundenspezifische Schaltkreise entwickeln zu können, wurde eigens dafür ein Zentrum geschaffen. Es arbeitet mit großem Erfolg und ist gegenwärtig dabei, das Entwurfsniveau LSI zu verlassen und VLSI zu erreichen, um den Integrationsgrad von derzeit 15000 Transistoren je Chip auf 100000 Transistoren und mehr zu erhöhen. Um den gestiegenen Anforderungen an zeitgemäße Automatisierungstechnik zu entsprechen, entsteht in Berlin-Marzahn ein modernes Leiterplattenwerk. Es wird in den nächsten Jahren nicht nur den Bedarf aller eigenen Kombinatsbetriebe decken, sondern darüber hinaus Leiterplatten mit einem hohen Technologieniveau auch für andere Bedarfsträger im Bereich des Ministeriums für Elektrotechnik/Elektronik bereitstellen. Diese Beispiele zeigen: Wir haben uns auf die Zukunft eingestellt und werden sie ebenso meistern, wie die vergangenen vier Jahrzehnte — als ein zuverlässiger Partner der DDR-Volkswirtschaft, der auch seinen Anteil zur Erhöhung ihrer Exportkraft leistet. So schließt sich der Kreis von alten Verlängerungsschnüren bis zur Mikroelektronik.

EK 4050

VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin – 40 Jahre volkseigener Elektroanlagenbau

Mit der Übernahme des AEG-Betriebes „Büro-Berlin" in das Volkseigentum am 15. August 1949 entstand der VEB Starkstromanlagenbau Berlin. Weniger als 1000 Mitarbeiter waren zu dieser Zeit mit der Reparatur und dann auch mit der Neuinstallation von elektrotechnischen Anlagen beschäftigt. Fast ausschließlich typisch starkstromtechnische Ausrüstungen für die Energieversorgung waren es, die damals den Charakter der Projektierung und der Montagearbeiten bestimmten. Gegenwärtig sind mehr als 6000 Werktätige im Berliner Bereich des jetzigen VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin (EAB) beschäftigt, die komplizierte Automatisierungsanlagen und Geräte für praktisch alle industriellen Prozesse entwickeln und errichten. So wurde aus einem Montagebetrieb ein hochspezialisierter Betrieb, mit einem eigenen Forschungszentrum, der den gesamten Entstehungsprozeß einer Automatisierungsanlage bis zur Inbetriebsetzung bearbeitet. Dazu gehören nun auch der Entwurf von Schaltkreisen sowie die Produktion von Leiterplatten, Baugruppen und Baueinheiten bis zu ihrem Einsatz in den Anlagen. Das Vordringen der Halbleiterbauelemente in die Starkstromtechnik und das Eindringen der Informationselektronik in alle Arten von elektrotechnischen Anlagen wurden bewältigt und bestimmen auch künftig die Entwicklung des Betriebes. Doch nicht allein der Starkstromanlagenbau Berlin war Ausgangspunkt des heutigen Großbetriebes VEB EAB in Berlin-Marzahn. Im Elektroapparatewerk Treptow wurde 1950 ein Projektierungstechnisches Büro „Elektrische Antriebe" gebildet. Seine Aufgabe war es, elektrotechnische Ausrüstungen für die Schwerindustrie und das Verkehrswesen zu projektieren und zu errichten. Aus diesem Büro und weiteren Betriebsteilen des EAW entstand der Betriebsteil „Elektroprojekt", der dann 1969 als inzwischen selbständig gewordener Betrieb mit dem Starkstromanlagenbau Berlin zum VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin vereint wurde. Der VEB Elektrodyn, erfahren im Bau von Rationalisierungsmitteln, sowie das Institut für Elektroanlagen (IAE) wurden 1985 dem VEB EAB, nunmehr Stammbetrieb des Kombinates Automatisierungsanlagenbau, zugeordnet.

Das Geschehen in den 40 Jahren der Entwicklung dieses Anlagenbaubetriebes läßt viele allgemeingültige Entwicklungstendenzen der Elektrotechnik und der elektrotechnischen Anlagen deutlich werden.

Die Antriebstechnik, sie begann mit den herkömmlichen Schaltungen und wurde mehrere Jahre von den Quecksilberdampf-Eisenstromrichtern (Bild 1) bestimmt, erlebte die Zeit der Transduktoren, der Röhrenregler, der Germanium- und Siliziumhalbleiter, wird seit zwei Jahrzehnten von den Thyristoren bestimmt und hat nun ihren vorläufigen Höhepunkt in den mit digitaler Informationsverarbeitung ausgerüsteten Stromrichtern sowie den Drehstromantrieben erreicht.

In der Steuerungstechnik, zunächst mit herkömmlichen Lösungen, dann mit Halbleiterbausteinen sowie verdrahtungsprogrammierten Steuerungen, später mit den Rechnern 1510 und 1520 ausgerüstet, sind nun die mit Echtzeitrechnern ausgerüsteten Industriecomputer Kernstück der Automatisierungsanlagen.

Beide Techniken bestimmen mit ihrer jeweiligen Spezifik das Niveau der elektrotechnischen Anlagen, die für fast alle Industriezweige vom VEB EAB geliefert wurden.

Der Übergang von der Kompakt- zur servicefreundlichen Bausteinweise erbrachte verbesserte Kennwerte, z. B. bei der Verfügbarkeit der Anlagen. Zunehmend sind es industrielle Fertigungsmethoden, die in den Werkstätten des Starkstromanlagenbaus angewendet werden. Müssen auch die Finalfertigung und -prüfung oft noch weitgehend den speziellen Forderungen angepaßt werden, so ermöglicht das konsequente Anwenden des Baustein- und Baugruppenprinzips eine weitgehende Serienfertigung. Den international sich abzeichnenden Tendenzen wurde durch das Eingliedern der Softwareentwicklung sowie der Leiterplatten und Baugruppenfertigung in den eigenen Betriebsprozeß entsprochen.

Das geschilderte Geschehen ist mit vielen anderen Aktivitäten verbunden, die von einem Großbetrieb des Elektroanlagenbaus gefordert werden. So wurden in der Berufsausbildung — 500 Lehrlinge befinden sich ständig in der Ausbildung — und bei der polytechnischen Ausbildung von ständig 2300 Schüler Maßstäbe gesetzt. Etwa 80 Fachleute des EAB bemühen sich in der Arbeitsgremien der KDT um das Niveau der Vorschriften, um die Elektrosicherheit. Auch die Fertigung von Konsumgütern ist zu erwähnen. Technologische Maßstäbe setzt die Großserienproduktion der Küchenluftfilterhaube (Bild 2). Dem technischen Niveau des Betriebes entsprechen der Telefonanrufbeantworter „Comtron" und die Datenspeichereinheit „DSE" des Bildungscomputers.

Durch die Konzentration der Kräfte im Großbetrieb EAB wurde es möglich, den steigenden Anforderungen von Technik und Technologie zu entsprechen. Mit den nunmehr 40 Jahren des volkseigenen Elektroanlagenbaus wird auch eine Tradition fortgesetzt, die in den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts begann. In vielen Bauten des Berliner Stadtzentrums, in denen bereits vor 100 Jahren Elektroanlagen montiert wurden, sind heute die Monteure des EAB tätig. Diese Erfahrungen und das neu erworbene Wissen geben die Gewißheit und den Optimismus, die vor dem Betrieb stehenden Aufgaben zum Bewältigen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts im Zusammenwirken mit den Wissenschaftlern der Hochschulen und den Fachleuten der Industrie vor Ort lösen zu können.

K. Bödeker, Berlin

EK 4038

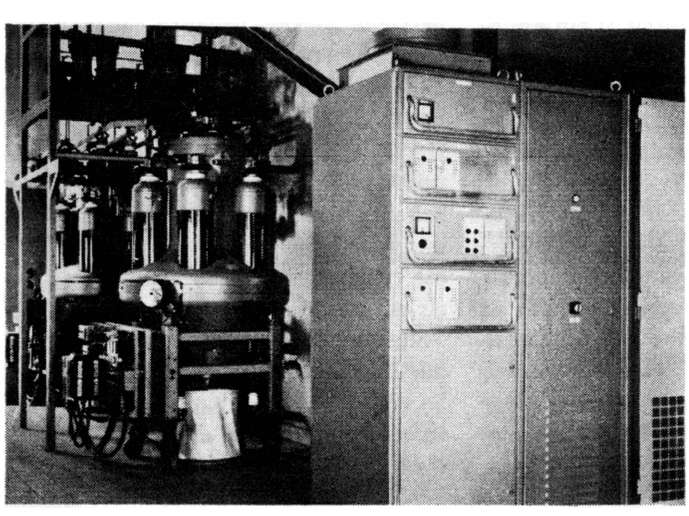


Bild 1. Gleichrichter-Anlage

Bild 2. Montage von Luftfilterhauben ▼

Projektierungssoftware VEM prodrive für elektrische Antriebe – ein Ergebnis der Wissenschaftskooperation

H. Reiche, KDT, Dresden; J. Vogel, KDT, Magdeburg

Wissenschaft produktiv zu machen, das ist das Ziel der Zusammenarbeit des VEB Kombinat Elektromaschinenbau mit der Technischen Universität Magdeburg auf dem Gebiet der Projektierung elektrischer Antriebe. Die theoretischen und experimentellen Forschungsergebnisse der TU werden im Bereich Forschung des Kombinats in nachnutzungsfähige Software umgesetzt, die hinsichtlich der technisch-ökonomischen Zielstellung und hinsichtlich der wissenschaftlichen Durchdringung international einmalig ist.

Für den Einsatz der elektrischen Antriebstechnik in der DDR führt die Nutzbarkeit dieser neuartigen Projektierungsmittel zu einer neuen Qualität der Zusammenarbeit zwischen den Herstellern von Elektromotoren und anderer Antriebskomponenten sowie den Anwendern, die eine bedeutende Erhöhung der Ausnutzung dieser Komponenten zum Ziel hat und eine Senkung des Bedarfs an Elektromotoren verspricht.

1. Zielstellung und bisheriger Stand der Projektierung von Elektromotoren

Die elektrischen Maschinen erweisen sich bei der weiteren industriellen Entwicklung immer mehr als Antriebskomponenten, die die Effektivität der Prozeßführung bestimmen und im beachtlichen Umfang zum rationellen Energieeinsatz beitragen können. Die wachsenden Anforderungen an die Prozeßführung, die meist mit der Durchsetzung eines höheren Automatisierungsgrades einhergehen, führen dazu, daß elektrische Antriebe immer mehr im dynamischen Betrieb eingesetzt werden. Dabei verdienen die Bewegungsvorgänge für Anlauf und Bremsen, der Betrieb mit veränderlichen Drehmomenten und Drehzahlen für die jeweiligen Betriebsregime größere Aufmerksamkeit.

Die Vorausbestimmung interessierender antriebstechnischer Parameter hat nach den theoretischen Erkenntnissen über die elektromechanischen Energiewandler einen hohen Stand erreicht. Es ist aber notwendig, den elektrothermischen Energiewandlungsprozeß, der das Erwärmungsverhalten und damit die Festlegung der Typenleistung und die Lebensdauer bestimmt, eine größere Beachtung zu schenken.

Die bisher angewendeten Berechnungsverfahren ermöglichen es nicht, bei Antrieben universell die auftretenden Übertemperaturen in der Wicklung der Motoren für die unterschiedlichen Betriebsregime vorauszuberechnen. Das liegt an dem unzulänglichen Berechnungsmodell, bei dem alle Verluste zusammengefaßt und die auftretende Übertemperatur lediglich über einen Wärmewiderstand und eine Wärmekapazität betrachtet werden (Einkörpermodell). Die auf dieser Grundlage aufgebauten Berechnungsbeziehungen für die Bestimmung der Typenleistung, so die Methode der Ersatzverlustleistungsbestimmung und die Effektivwertmethode, sind demzufolge zur Typenleistungsbestimmung bei Antrieben mit dynamischem Bewegungsablauf ungeeignet.

2. Neue Berechnungsmodelle für die Projektierung

Es wurden die Bemühungen verstärkt, für die Vorausberechnung der Wicklungstemperaturen von diesem vereinfachten Einkörpermodell abzugehen und an seine Stelle eine verbesserte Struktur, ein Zweikörpermodell zu setzen [1]. Berechnungen auf dieser Grundlage eröffneten die Möglichkeit, Erwärmungsvorgänge bei dynamischem Betrieb vorauszubestimmen, die eine akzeptable Genauigkeit gegenüber praktischen Messungen haben. Allerdings war es notwendig, dazu mindestens einen weiteren Wärmekennwert für jede Maschine auf experimentellem Wege zu bestimmen.

Bei dem Umfang und der Vielfalt der heute eingesetzten Elektromotoren konnte sich diese Vorgehensweise in der Projektierung nicht durchsetzen. Ein entscheidender Schritt gelang mit der Konzipierung einer neuen Struktur, dem sogenannten Zweikomponentenmodell. Es ermöglicht, für die im Betrieb auftretenden Drehmomente (stromabhängige Verluste) und Drehzahlen (drehzahlabhängige Verluste) die Berechnung der Übertemperaturen in der interessierenden Wicklung lediglich unter Verwendung von thermischen Kennwerten, wie sie sich aus der Typprüfung im Prüffeld des Herstellers bestimmen lässen [2].

Dr.-Ing. habil. *Hans Reiche* ist Leiter des Bereichs Forschung im VEB Kombinat Elektromaschinenbau.

Prof. Dr. sc. techn. *Johannes Vogel* ist ordentlicher Professor und Leiter des Wissenschaftsbereichs Elektroantriebstechnik und Elektroautomatisierungstechnik an der TU „Otto von Guericke" Magdeburg.

Für dieses thermische Modell wurden in den vergangenen Jahren die theoretischen Untersuchungen erweitert und Algorithmen zur universellen Anwendung in der Projektierungspraxis erarbeitet. Experimentelle Untersuchungen bestätigten, daß auf dieser Grundlage thermische Vorausberechnungen für periodische und nichtperiodische Belastungsverläufe mit guter Genauigkeit durchgeführt werden können [3]. Die neue Berechnungsmethodik stützt sich auf die Kennzeichnung der Motoren mit ihren thermischen Eigenschaften:

— die Übertemperaturen der beiden Erwärmungskomponenten Θ_1 und Θ_2
— die Zeitkonstanten τ_1, τ_2, τ_{2St}.

Mit der Angabe dieser Erwärmungsgrößen wird zugleich die Lücke bei der Kennzeichnung der Elektromotoren hinsichtlich ihrer Qualitätsparameter geschlossen. Damit stehen neben elektrischen und mechanischen Kenngrößen auch thermische für die antriebsgerechte Projektierung zur Verfügung [4] [5].

3. Zweikomponentenmodell — Berechnungsgrundlage für die neue Projektierung

Wegen des komplizierten Aufbaus des Elektromotors treten sehr viele Erwärmungskomponenten auf, die unterschiedlich auf das Erwärmungsverhalten der interessierenden Wicklung einwirken. Bei Asynchronmotoren interessiert hauptsächlich das Erwärmungsverhalten der Ständerwicklung, bei Gleichstrommotoren der Ankerwicklung. Wenn im Prüffeld bei Dauerbetrieb mit Nennbelastung, die Übertemperaturen bestimmt werden, lassen sich aus diesem Temperaturverlauf durch grafische bzw. rechnerische Methoden jedoch zwei charakteristische Komponenten bestimmen, die das thermische Verhalten recht gut beschreiben [6]. Sie ergeben sich als deutlich voneinander abzugrenzende Komponenten, die infolge des Auswerteverfahrens eine Gruppierung der vielen Einzelkomponenten auf diese zwei Erwärmungskomponenten reflektieren. Die so in der Betriebsart S1 (Dauerbetrieb) gewonnenen Erwärmungsgrößen sind für jede Maschine typische Kenngrößen, die zur Berechnung des Erwärmungsverhaltens herangezogen werden.

Das Zweikomponentenmodell nach Bild 1 zeigt die vier Systemelemente A_{12}, A_2, C_1, C_2, die zwischen den stromabhängigen Verlusten P_{V1} und den drehzahlabhängigen Verlusten P_{V2} so angeordnet sind, daß im Knotenpunkt I eine Übertemperatur aus zwei Komponenten gebildet wird [2] [7].

Dafür gilt das Differentialgleichungssystem

$$P_{V1} = C_1 \frac{\mathrm{d}\,\vartheta_I}{\mathrm{d}\,t} + A_{12}\,(\vartheta_I - \vartheta_{II})\,, \tag{1a}$$

$$P_{V2} = C_2 \frac{\mathrm{d}\,\vartheta_{II}}{\mathrm{d}\,t} - A_{12}\,(\vartheta_I - \vartheta_{II}) + A_2\,\vartheta_{II}\,. \tag{1b}$$

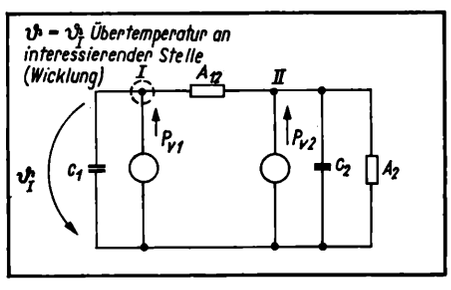


Bild 1
Zweikomponentenmodell
P_{V1} stromabhängige Verlustleistung; $P_{V1} = P_{VLast}$
P_{V2} konstante drehzahlabhängige Verlustleistung; $P_{V2} = P_{VLeer}$
A_{12}, A_2 Wärmeleitwerte; C_1, C_2 Wärmekapazitäten; ϑ_I, ϑ_{II} Knotenpunkttemperaturen

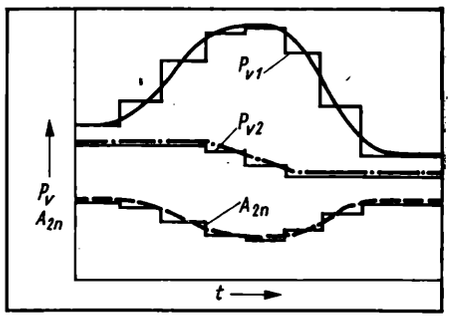


Bild 2. Diskretisierung der Eingabewerte P_{V1}, P_{V2}, A_{2n} des Zweikomponentenmodells

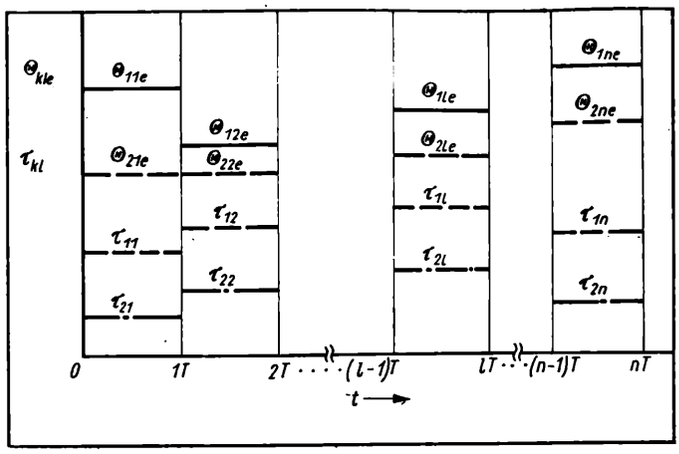


Bild 3
Diskrete Eingabewerte Θ_{kle} und τ_{Kl}
k Komponente,
l laufender Zeitabschnitt T ▶

P_{V1} stromabhängige Verlustleistung; $P_{V1N} \approx P_{VLastN}$;
P_{V2} konstante und drehzahlabhängige Verlustleistung;
$P_{V2N} \approx P_{VLeerN}$.

Nach theoretischen und experimentellen Untersuchungen sind bei Asynchronmotoren die Systemelemente A_{12}, C_1 und C_2 nur wenig drehzahl- und belastungsunabhängig. Demgegenüber zeigt der Wärmeleitwert A_2 bei eigenbelüfteten Motoren eine signifikante Abhängigkeit von der Drehzahl [8].

Die über die Wicklung gemittelten Übertemperaturen (gleichermaßen kann die Berechnung mit entsprechend anderen thermischen Kennwerten für spezielle Meßpunkte, z.B. Heißstellen, vorgenommen werden) ergeben sich aus dem Differentialgleichungssystem (1), wenn die Systemelemente für die jeweilige Maschine bekannt sind. Letztere wiederum lassen sich aus dem Erwärmungslauf bei Nennbelastung bestimmen. Dieser Berechnungsweg hat allgemeingültigen Charakter, d.h., er läßt sich universell für alle Wicklungen elektrischer Maschinen nach Auswertung des Erwärmungsverlaufs anwenden. Damit ist gewährleistet, daß gegenüber dem Einkörpermodell die reaktionsschnellere Erwärmungskomponente, die maßgebend für das Auftreten von Spitzenwerten der Temperatur ist, erfaßt wird. Es hängt vor allem von der Art der ausgeführten Maschine und der betrachteten Wicklung ab, welchen Einfluß die reaktionsschnelle und die trägere Erwärmungskomponente auf den Erwärmungsverlauf haben.

Eine Vereinfachung der Berechnungsbeziehungen ergibt sich, wenn die Belastungs- und Bewegungsabläufe diskretisiert werden (Bilder 2 und 3). Das ist mit der Festlegung einer entsprechend kleinen Intervallbreite immer möglich (Abschn. 4.).

Unter der Voraussetzung, daß die Systemelemente als Koeffizienten des Differentialgleichungssystems innerhalb eines Intervalls konstant sind, läßt sich mit Hilfe der Laplace-Transformation der Temperaturverlauf aus der Überlagerung der Sprungantworten dieser beiden Erwärmungskomponenten berechnen [3]:

$$\vartheta_x = \sum_{k=1}^{2} \sum_{l=1}^{x} \Theta_{kle} \left(1 - e^{-t_l/\tau_{k,l}}\right) e^{-\sum_{m=l}^{x} t_{m+1}/\tau_{k,m+1}} \qquad (2)$$

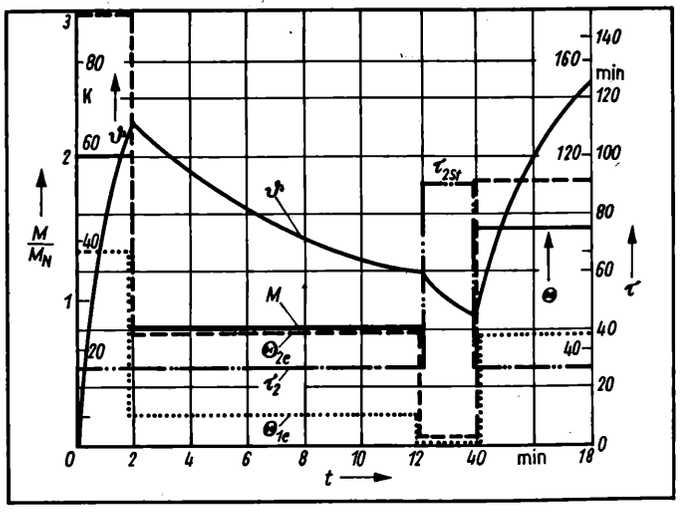


Bild 4. Verlauf der Übertemperatur ϑ für ein Belastungsspiel

k Komponente,
l laufender Zeitabschnitt.
Bei $m \geqq x$ ist $t_{m+1} = 0$ zu setzen.

Im Bild 2 sind für einen Belastungsfall mit veränderlichem Drehmoment und veränderlicher Drehzahl die Bestimmungsstücke der beiden Komponenten in den einzelnen Intervallen dargestellt .Die Gesamtübertemperatur ergibt sich aus der Überlagerung der jeweiligen Sprungantworten in den einzelnen Zeitintervallen.

4. Diskretisierung der Bewegungskenngrößen und Verlustleistungsfunktionen

Die Anwendung des vorgenannten Berechnungsverfahrens setzt voraus, daß in den Intervallen rechteckförmige Verlustleistung-Zeitflächen vorgegeben werden. Die Schrittweite der Zeitintervalle bestimmt einerseits den Fehler, der durch die Diskretisierung entsteht, andererseits ist sie für den entstehenden Berechnungsaufwand ausschlaggebend. Unter Zugrundelegung der thermischen Kennwerte von Niederspannungsasynchronmotoren lassen sich Aussagen über diese Intervallbreiten treffen [9]. Als Verlustleistungsfunktionen wurden dabei typische Verläufe ausgewählt, wie sie für Übergangsvorgänge im Bild 5a) mit konkaven, konvexen und linearem Zeitverlauf dargestellt sind. Diese Verlustleistungsfunktionen sind bei der Diskretisierung als rechteckförmige Größen mit gleicher Verlustleistungs-Zeitfläche einzuführen.

Im Bild 5b) kann abgelesen werden, welcher Fehler durch diese Diskretisierung entsteht. Bei der Festlegung der Schrittweite T ist für die Gesamtberechnung eines Spiels von Bedeutung, ob sich derartige Übergangsvorgänge häufig wiederholen. Falls das nicht zutrifft, kann eine Schrittweite von

$$\tau = 0{,}5 \cdot \tau_1 \qquad (3)$$

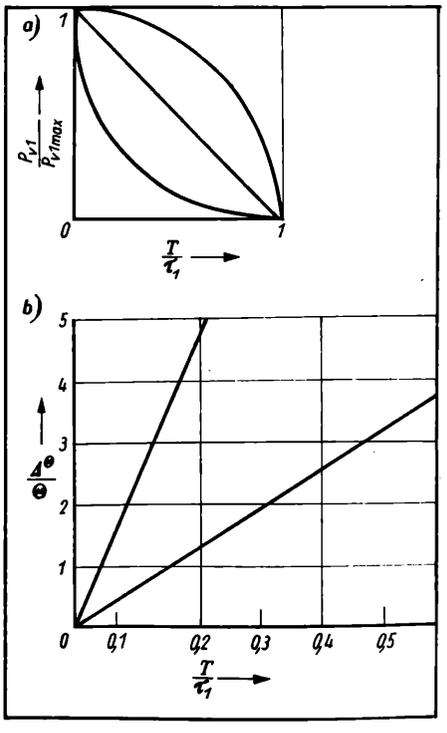


Bild 5
Prozentualer Fehler der Endtemperatur $\Delta\Theta/\Theta$ bei verschiedenen Verlustleistungsfunktionen P_{V1}
τ_1 kleine Zeitkonstante,
T Intervallbreite

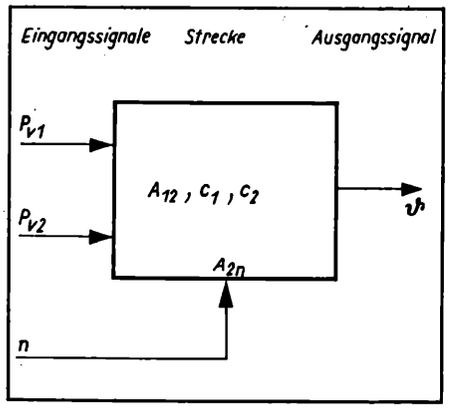


Bild 6. Ein- und Ausgangssignale des Zweikomponentenmodells

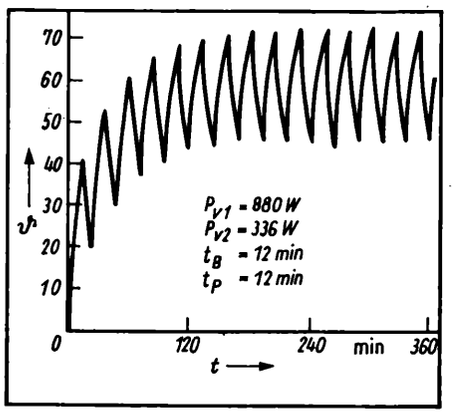


Bild 7. Verlauf der Übertragtemperatur im Einschwingvorgang einer Maschine im S3-Betrieb

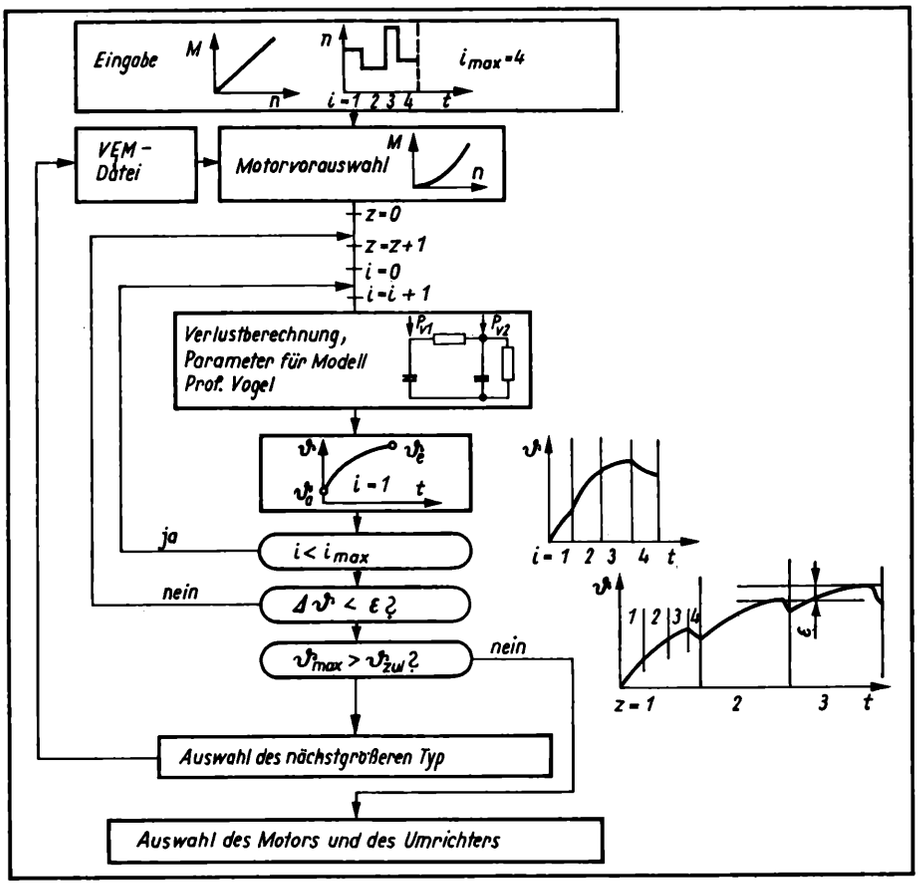


Bild 8. Vereinfachter Ablauf der Auswahl eines Drehstromstandardmotors und des zugehörigen Umrichters bei drehzahlvariablem Arbeitsregime — Grundlage für die Software VEM prodive U

zugelassen werden. Da Anlauf- und Bremsvorgänge in relativ kurzer Zeit ablaufen, ist für Berechnungen meist der Mittelwert der stromabhängigen Verlustleistung P_{V1} während dieser Übergangszeiten ausreichend.

5. Übertemperatur und Typenleistung nach der Θ-τ-Methode

Der formale Berechnungsgang zur Bestimmung der Übertemperatur aus der Überlagerung der Sprungantworten (Θ-τ-Methode) setzt voraus, daß für jedes Intervall die beiden Erwärmungskomponenten entsprechend der jeweiligen Verlustleistungen und den beiden Zeitkonstanten bekannt sind. Dazu ist es notwendig, den Zusammenhang zwischen den beiden Erwärmungskomponenten und den stromabhängigen bzw. drehzahlabhängigen Verlustleistungen aufzudecken. Aus einem Vergleich mit der Berechnungsmethode über die Systemelemente (A-C-Methode) findet man mit ausreichender Genauigkeit für Asynchronmotoren:

$$\Theta_{1e} = \Theta_1 \frac{P_{V1}}{P_{V1N}}; \quad \Theta_{2e} = \Theta_2 \frac{\tau_{2n}}{\tau_2} \frac{P_{V1} + P_{V2}}{P_{VN}}. \qquad (4a) \quad (4b)$$

$$\tau_1 \approx \tau_{1n} \approx \tau_{18t}; \quad \tau_{2n} \approx \tau_2 A_2/A_{2n}; \qquad (5a) \quad (5b)$$

Θ_{1a}, Θ_{2a}, Θ_{1e}, Θ_{2e} Anfangs- bzw. Endwerte der Übertemperatur der Erwärmungskomponente *1* bzw. *2* im Knotenpunkt I

Θ_1, Θ_2 Erwärmungskomponenten bei Nennbelastung (Endwerte)

τ_1, τ_{1n}, τ_{18t}, Zeitkonstanten der Erwärmungskomponenten *1* bzw. *2* bei Nenndrehzahl

τ_2, τ_{2n}, τ_{28t} bei beliebiger Drehzahl bzw. im Stillstand

Nach den vorstehenden Darlegungen läßt sich das Erwärmungsverhalten vereinfacht so interpretieren:

— Der Verlauf der Übertemperatur in der Wicklung ist durch 2 Komponenten zu beschreiben, bei denen die schnellverlaufende allein von den stromabhängigen Verlusten, die trägere Komponente von den Gesamtverlusten bestimmt wird. Für die trägere Erwärmungskomponente ist bei eigenbelüfteten Maschinen die drehzahlabhängige Wärmeabgabefähigkeit von Einfluß. Demgegenüber ist die schnellaufende Komponente nahezu drehzahlunabhängig.

— Die kleine Zeitkonstante τ_1 wird von der Drehzahl nur unwesentlich beeinflußt und kann für praktische Rechnungen als konstant angenommen werden. Die Zeitkonstante τ_2 der trägeren Erwärmungskomponente wird dagegen sehr stark von der Drehzahl geprägt.

Tafel 1

Zeitverlauf		Berechnungsgleichung
S2	P_{V1} (t_B), P_{V2}, A_2	$\frac{I_{S2}}{I_N^*} = q_{S2} = \sqrt{\frac{\Theta - \Theta_2 \frac{P_{VLeerN}}{P_{VN}}\left(1-e^{-t_B/\tau_2}\right)}{\Theta_1\left(1-e^{-t_B/\tau_1}\right) + \Theta_2 \frac{P_{VlastN}}{P_{VN}}\left(1-e^{-t_B/\tau_2}\right)}}$
S3	P_{V1} (t_B t_P), P_{V2}, A_2	$\frac{I_{S3}}{I_N^*} = q_{S3} = \sqrt{\frac{\Theta - \Theta_2 \frac{P_{VLeerN}}{P_{VN}}}{\Theta_1 \frac{1-e^{-t_B/\tau_2}}{1-e^{-\left(\frac{t_B+t_P}{\tau_1}\right)}} + \Theta_2 \frac{P_{VlastN}}{P_{VN}} \frac{1-e^{-t_B/\tau_2}}{1-e^{-\left(\frac{t_B}{\tau_2}+\frac{t_P}{\tau_{2St}}\right)}}}}$
S6	P_{V1} (t_B t_P), P_{V2}, A_2	$\frac{I_{S6}}{I_N^*} = q_{S6} = \sqrt{\frac{\Theta - \Theta_2 \frac{P_{VLeerN}}{P_{VN}}}{\Theta_1 \frac{1-e^{-t_B/\tau_1}}{1-e^{-\frac{t_B+t_O}{\tau_1}}} + \Theta_2 \frac{P_{VlastN}}{P_{VN}} \frac{1-e^{-t_B/\tau_2}}{1-e^{-\frac{t_B+t_O}{\tau_2}}}}}$

6. Bestimmung der Typenleistung für standardisierte Betriebsarten

Als typische Betriebsarten sind außer dem Dauerbetrieb S1, der Kurzzeitbetrieb S2, der Aussetzbetrieb S3 und der Durchlaufbetrieb S6 zu bezeichnen. Das resultiert aus dem Zeitverlauf der Verlustleistungsfunktion, die Eingangsgrößen für das Zweikompo-

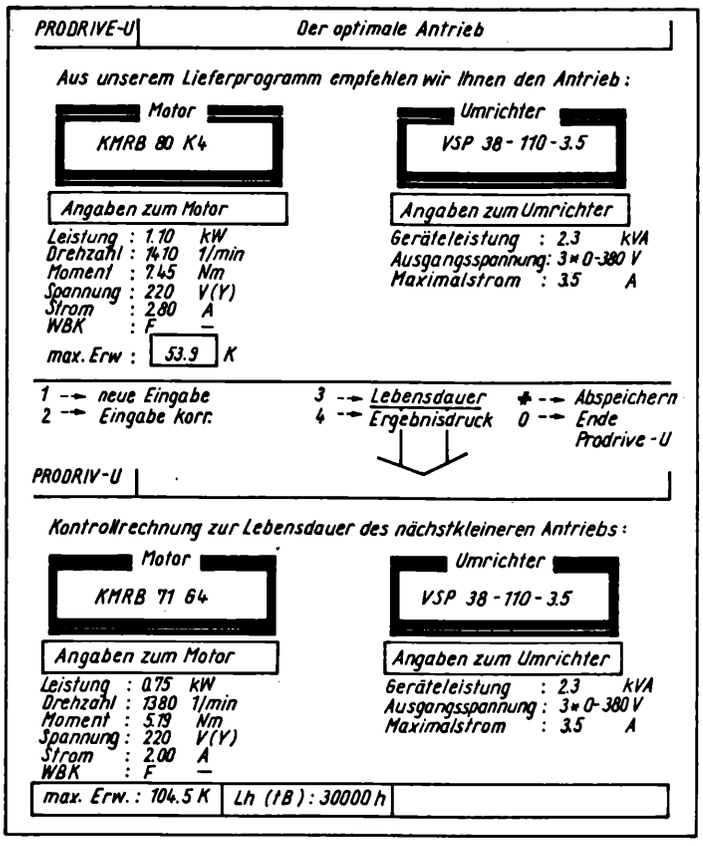


Bild 9. Ausdruck der Motorenauswahl bei Verwendung von VEM prodrive U unter Kennzeichnung der Lebensdauerwerte für die Wicklung des nächstkleineren Motors

nentenmodell sind, und aus der Veränderung des zur jeweiligen Drehzahl zugeordneten Streckenparameters A_2 (Bild 6). Die Zeitverläufe sind in Tafel 1 dargestellt. Die Berechnungen der Übertemperatur für die vorstehenden Betriebsarten können nach (2) erfolgen. Damit besteht die Möglichkeit, den Temperaturverlauf auch während der Einschwingvorgänge zu berechnen (Bild 7). Vielfach ist jedoch für die Festlegung der Typenleistung der eingeschwungene Zustand von Interesse. Hier kann unter Anwendung der Methode der Laplace-Transformation von Abtastfunktionen der auftretende Maximalwert der Übertemperatur ermittelt werden. Bei Einführung der zulässigen Grenzübertemperatur für die jeweilige Wärmebeständigkeitsklasse lassen sich die Gleichungen so umstellen, daß daraus ein Faktor q_s gewonnen wird, der, bezogen auf das Nennmoment für die betreffende Betriebsart, das zulässige Belastungsmoment angibt [10] (Tafel 1). Damit berechnet man das Nennmoment des antriebsgerechten Motors zu

$$M_N \geqq \frac{1}{q_s} M_s . \tag{9}$$

Der Berechnungsgang für die Bestimmung der Typenleistung geht damit so vor sich, daß zunächst ein überschläglich ausgewählter Motor für die Berechnung angenommen und die Durchrechnung solange wiederholt wird, bis der Motor bei der vorgegebenen Grenztemperatur mit der kleinsten Typenleistung festliegt. Dieser Algorithmus liegt den entwickelten Berechnungsprogrammen VEM prodrive zugrunde, die mit dem Datensatz der Erwärmungskennwerte der VEM-Motoren ausgestattet sind.

7. Projektierungs-Software VEM prodrive

Die Analysen, die in verschiedenen Industrieländern hinsichtlich der Auslastung von Elektromotoren gemacht wurden, haben eine durchschnittliche elektrische Belastung von etwa 60% im Verhältnis zur Nennleistung des Motors ergeben. Die Gründe dafür sind:

— die nicht beliebig feine Stufung der Leistungsreihen
— eine ungenügende Kenntnis der Anforderungen an den Elektromotor über das Belastungsregime des Antriebs
— das Fehlen hinreichend genauer mathematischer Modelle für das thermische Verhalten des Motors bei komplizierten Belastungsregimes bzw. die zu hohen Anforderungen an den Projektierungsprozeß durch Nutzung komplizierter Berechnungsverfahren.
— die vom Elektromotorenhersteller nicht oder nur auf der Grundlage von Sondervereinbarungen zugelassene thermische Überlastung der Wicklung des Motors
— der Wunsch nach hoher Zuverlässigkeit des Antriebs, der durch möglichst geringe spezifische Werkstoffbelastungen befriedigt werden soll
— das Wirken anderer Forderungen an den Elektromotor außer der Leistungsforderung, z.B. Momentenforderungen oder Frequenzbedingungen
— die Stufung der Leistungskennwerte von Arbeitsmaschinen, die in Leistungsreihen gebaut werden.

Wenn also die relativ geringe Auslastung der Motoren immer begründet werden kann, auch ohne ein zu großes subjektives Sicherheitsbedürfnis des Projektanten zu unterstellen, so ist doch der im derzeitigen Antriebspotential einer Volkswirtschaft steckende Aufwand an Material und Arbeitsvermögen unvertretbar hoch. Um diesen Zustand zu verbessern, bedarf es eines volkswirtschaftlichen Gewissens, das einerseits dem Drang der Hersteller von Elektromotoren nach hohem Umsatz und großer Sicherheit hinsichtlich Gewährleistung der Zuverlässigkeit des verkauften Erzeugnisses einschließlich der sich daraus ergebenden Haftpflichten Einhalt gebietet und andererseits der Großzügigkeit des Anwenders, durch Unkenntnis oder durch ein zu großes Sicherheitsbedürfnis begründet, entgegenwirkt. Für die Volkswirtschaft der DDR ist deshalb die Notwendigkeit der Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Anwender von Motoren und anderen Antriebskomponenten klar erkannt worden. Am 10. Mai 1989 wurde in Dresden ein zentrales Seminar des Ministerrats zum effektiveren Einsatz von Elektromotoren durchgeführt. Eine der abgeleiteten Maßnahmen ist die durchgängige Nutzung von hochwertigen Projektierungsmitteln in allen Bereichen der Volkswirtschaft und die Bildung von Konsultationszentren für elektrische Antriebe [11] [12].

Heute liegen die Software-Programme

VEM prodrive A
Antriebsgerechte Auswahl von Niederspannungs-Asynchronmotoren der VEM-Erzeugnisreihen KMR, KPR, KMER bzw. KPER [13] [14]

VEB prodrive M
Antriebsgerechte Überprüfung der Wellen und Lagerbelastung von Niederspannungs-Asynchronmotoren der VEM-Erzeugnisreihen KMR, KPR, KMER bzw. KPER [15]

VEM prodrive G
Antriebsgerechte Auswahl von VEM-Standardgetriebemotoren der Reihe ZG [16] [17]

für die Nutzung auf der in der DDR verfügbaren Hardware und auf IBM-kompatiblen Computern bereit. Die nähere Beschreibung der

dieser Software zugrunde liegenden Algorithmen ist in der genannten Literatur enthalten. Die auf den internationalen Märkten wirkenden VEM-Vertreterfirmen des VEB Kombinat Elektromaschinenbau sind ebenfalls mit solcher Antriebssoftware VEM prodrive aller Komponenten ausgerüstet [12].

8. Projektierung umrichtergespeister Drehstromantriebe-VEM prodrive U

Die anläßlich der Leipziger Frühjahrsmesse 1989 erstmals vorgestellte Projektierungssoftware

VEM prodrive U

für drehzahlvariable umrichtergespeiste Drehstromantriebe auf der Basis von Standard-Asynchronmotoren bis zu einer Antriebsleistung bis 90 kW wird nachfolgend näher erläutert.

Ist beim Antrieb mit konstanter Drehzahl der periodisch auftretende Drehmoment-Zeit-Verlauf in Blockform Ausgangspunkt für die antriebsgerechte Auswahl des Motors, so liegt beim drehzahlvariablen Antrieb die Drehzahl-Zeit-Funktion der Auswahl des Motors und des passenden Frequenzumrichters zugrunde. Der im Bild 8 insgesamt dargestellte Algorithmus der auf Personalcomputern nutzbaren Software VEM prodrive U (U = Umrichterspeisung), geht von einem Typ der Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der anzutreibenden Arbeitsmaschine aus. Zur Auswahl stehen die drei typischen Belastungskennlinien

q = quadratisch, für Lüfter- und Pumpenantriebe
l = linear
k = konstant.

Aus der Drehzahl-Zeit-Vorgabe des gewünschten Betriebsregimes ergibt sich somit der Drehmoment-Zeit-Verlauf, der zur Vorauswahl des Motors nach dem Prinzip der Bestimmung des Effektivmoments führt, so, wie es vom Algorithmus für die Motorauswahl nach VEM prodrive A bekannt ist. Aus der Motor-Datei der Leistungsreihe wird somit der Motortyp mit all seinen elektromagnetischen, mechanischen und thermischen Parametern herausgelesen und der weiteren Berechnung zugrunde gelegt. Die einzelnen Abschnitte mit jeweils konstanter Drehzahl sind durch den Index i gekennzeichnet. Es beginnt die Berechnung der einzelnen Verluste mit Intervall $i = 1$ (Bild 8). Diese Verluste werden in das Zweikomponentenmodell nach *Vogel* eingespeist und führen zu der am Ende des Intervalls erreichten Wicklungserwärmung ϑ_e.

Das geschieht für alle innerhalb einer Betriebsregimeperiode definierten Intervalle, wobei ständig kontrolliert wird, ob nicht der Erwärmungswert den der Wärmebeständigkeitsklasse entsprechenden zulässigen Maximalwert ϑ_{zul} überschreitet. Im Fall des Überschreitens wird sofort der nächstgrößere Motortyp ausgewählt, weil die Temperaturen nur noch höher werden können. Das Abarbeiten des i-Zyklus wird solange wiederholt, bis man von einem Erreichen

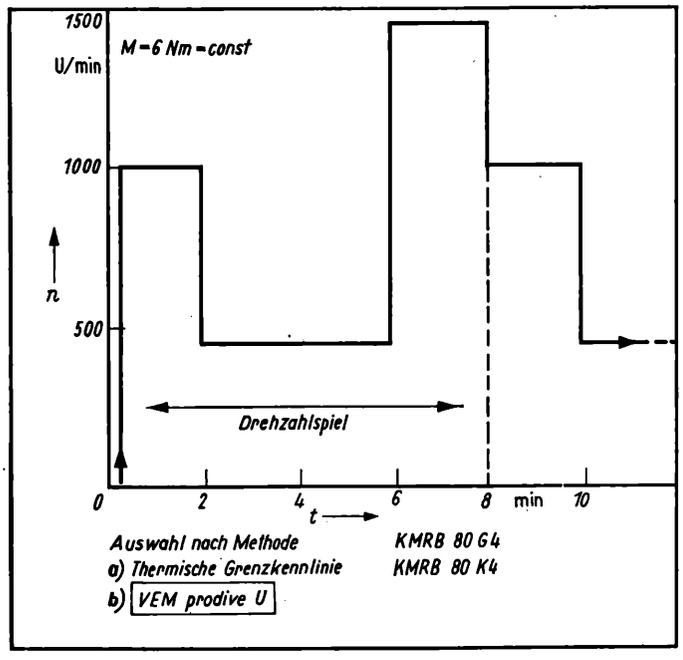


Bild 10. Vergleich der Auswahl eines Drehstromstandardmotors bei vorgegebenen Drehzahl-Zeit-Verlauf $n(t)$
a) unter konventioneller Verwendung einer thermischen Grenzkennlinie
b) bei Berücksichtigung des wirklichen Zeitverlaufs durch VEM prodrive U

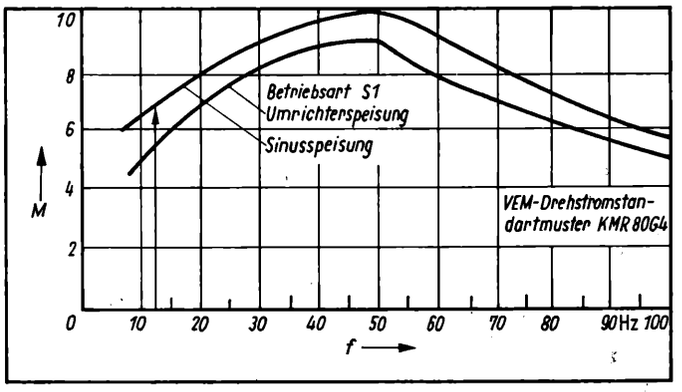


Bild 11. Thermische Grenzkennlinie eines drehzahlvariablen Drehstromantriebs bei Sinusspeisung und bei Umrichterspeisung

eines Beharrungswertes für die maximale Wicklungserwärmung ϑ_{max} sprechen kann. Die dafür durchlaufenden Last-Zyklen haben den Index Z.

Die Auswahl des Motortyps und die über den erforderlichen Motorstrom sich ergebende Auswahl des Umrichters wird durch die Ausgabe der entsprechenden Kennwerte dokumentiert (Bild 9). Da es immer wieder interessant ist, welche Wicklungserwärmung der nächstkleinere Motor hat, ist dessen zusätzliche Durchrechnung im Menü der Computerbedienung vorgesehen. Der Erwärmungswert gibt meist Anlaß, über die der Berechnung zugrunde gelegten Ausgangswerte nachzudenken und sie nach kritischer Prüfung gegebenenfalls herabzusetzen. Bild 12 enthält eine solche Auslegungsalternative:

Die Beachtung der maximal zulässigen Wicklungserwärmung von 85 K führt zunächst zum Motortyp 80 K4, der sich mit 53,9 K aber relativ wenig erwärmt. Der nächstkleinere Typ 71 G4 überschreitet die maximal zulässige Wicklungserwärmung. Auf die rechnerische Wicklungslebensdauer Lh hat das aber einen nur geringen Einfluß: sie liegt mit 30000 h noch ausreichend hoch für den betreffenden Antriebsfall.

Ein für den geschilderten Algorithmus typischer Anwendungsfall soll mit Hilfe von Bild 10 betrachtet werden. Die Arbeitsmaschine hat ein von der Drehzahl unabhängiges Moment von 6 Nm (Kennlinientyp k). Das während eines Spiels auftretende Drehzahlregime führt zur Auswahl des Motortyps KMRB 80 K4.

Nach konventioneller Betrachtungsweise, nach der Methode der thermischen Grenzkennlinie, hätte man entsprechend Bild 11 für das vorgegebene Moment von 6 Nm den niedrigsten Drehzahlwert von 350 U/min der Auswahl zugrunde legen müssen. Der dieser Drehzahl entsprechende Frequenzwert von etwa 12 Hz liefert aber nur beim nächstgrößeren Typ KMR 80 K4 mit Sicherheit den geforderten Momentwert von 6 Nm. Die Berücksichtigung des wirklichen Drehzahlregimes beeinflußt natürlich immer mehr oder weniger starkem Maße die Motorenauswahl.

Im Sinne des effektiveren Umgangs mit Elektromotoren ist die Nutzung der in der Software VEM prodrive U enthaltenen neuen Projektierungsmethodik unumgänglich. Bisher wurde der heute noch vorhandene Einfluß der von der Sinusform abweichenden Zeitverläufe der vom Umrichter gelieferten elektrischen Größen Strom und Spannung übergangen. Dieser Einfluß soll aber, da er entwicklungsbedingt und somit degressiv zu betrachten ist, bewußt getrennt behandelt werden.

Durch die Abweichung der Spannungs- und Stromverläufe von der Sinusform treten im Asynchronmotor zusätzliche Verluste und damit eine höhere Erwärmung sowie störende Pendelmomente auf. Bei der Berechnung dieser Erscheinungen geht man vom Schalt- oder Pulsmuster des Umrichters aus, das sich gewöhnlich in Abhängigkeit vom Frequenzbereich ändert. Das Pulsmuster wird hinsichtlich seines Oberwellengehalts analysiert und schließlich die Wirkung der Oberwellen auf das Betriebsverhalten des Motors bestimmt.

All das setzt eine genaue Kenntnis des meist sehr individuell gestalteten Steuerregimes des Umrichters voraus. Neben dem Schaltmuster des Umrichters ist weiterhin die Gestaltung der Abhängigkeit der Spannung von der Steuerfrequenz zu beachten. Für den allgemeinen Fall der Berechnung des Einflusses der bei der Umrichterspeisung auftretenden Abweichung der Speisegrößen von der Sinusform ist die Vorbereitung der Berechnung umfangreich und kompliziert. Bei der Konzentration auf eine bestimmte Umrichterreihe wird sich diese Arbeit vereinfachen lassen. In dieser Hinsicht

hat die Bereitstellung des Motors und des Umrichters durch, einen Hersteller den bedeutenden Vorteil, daß die Einflüsse des Umrichters auf die Auswahl des Motors in Abhängigkeit von der Arbeitskennlinie der Arbeitsmaschine und von dem benutzten Frequenzbereich bekannt sind.

9. Weitere Vervollkommnung der Projektierungsmittel für elektrische Antriebe — ein volkswirtschaftliches Gebot

Das Ziel der umfassenden Anwendung der rechnergestützten Arbeit bei der Projektierung von Drehstromantrieben in der Wirtschaft ist durch die Erhöhung der derzeitigen Ausnutzung der Nennleistung der Asynchronmotoren von 60% auf mindestens 70% umrissen. Dem entspricht angesichts der DDR-Jahresproduktion solcher Motoren von nahezu einer Milliarde Mark eine bedeutende Reduzierung des gesellschaftlichen Aufwands. Unterstützt wird dieses Bestreben durch die Einführung der zustandsabhängigen Instandhaltung. Wege der methodischen Vervollkommnung sind

— die Einbeziehung der angetriebenen Arbeitsmaschine als Form der Qualifizierung der Eingabedaten, eine Gemeinschaftsarbeit von Hersteller und Anwender von Elektromotoren
— die Einführung einer lebensdauerorientierten Projektierung [18], die zunächst die Form einer für den jeweiligen Antriebsfall gültigen Vereinbarung zwischen Motorhersteller und Anwender hat
— die Berücksichtigung dynamisch anspruchsvoller Antriebe durch Methoden der Zeitsimulation.

Schließlich werden Expertensysteme zu entwickeln sein, die vor der eigentlichen „antriebsgerechten Auswahl von Antriebskomponenten" aus dem Antriebsproblem heraus die technisch-ökonomisch optimale Wahl der zu verwendenden Wirkprinzipien treffen, also z. B. als Alternativlösung das mechanische Stellgetriebe mit Standardmotor oder den frequenzgestellten Spezialmotor betrachten.
Die vorliegenden Berechnungsprogramme VEM-prodrive sind das Ergebnis einer erfolgreichen Zusammenarbeit von Technischer Universität und Herstellern von Elektromotoren. Sie ermöglichen in enger Verbindung mit den Anwendern elektrischer Antriebe eine Optimierung des Einsatzes von Elektromotoren mit hohem volkswirtschaftlichem Nutzen.

Literatur

[1] *Vogel, J.; Bey, A.:* Bestimmung der Wicklungstemperatur elektrischer Maschinen mit Analogrechner. ELEKTRIE, Berlin 34 (1980) 5, S. 227–229
[2] *Vogel, J.:* Wicklungserwärmung elektrischer Maschinen im nichtstationären Betrieb. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 1, S .19–20
[3] *Vogel, J.:* Digitale Typenleistungsbestimmung elektrischer Maschinen auf der Grundlage thermischer Beanspruchungen. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 12, S. 621–622
[4] VEB Elektromotorenwerk Thurm: Projektierungsanleitung
[5] VEB Elektromotorenwerk Wernigerode: Projektierungsanleitung
[6] *Vogel, J.*, u.a.: Elektrische Antriebstechnik. 4. Auflage. Berlin: VEB Verlag Technik 1988, S. 383
[7] Ebenda, S. 185
[8] *Vogel, J.:* Die Systemelemente des thermischen Zweikomponentenmodells. ELEKTRIE, Berlin 37 (1983) 2, S. 74–75
[9] *Vogel, J.; Kurrich, R.:* Untersuchungen zur Schrittweite bei Diskretisierung der Verlustleistungsfunktionen. TU Magdeburg 1988 (unveröffentlicht)
[10] Lit. [6], S. 188, 190, 192
[11] *Reiche, H.:* VEM-Konsultationszentrum für elektrische Antriebe. ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 2, S. 44
[12] *Reiche, H.:* Erfolgreiche Anwendung von VEM-Antriebssoftware. Elektromaschinenbau, Technische Mitteilungen (1988) 2, S. 26 u. 27
[13] *Reiche, H.; Berger, D.:* Antriebsgerechte Motorenauswahl mittels Personalcomputer. Elektromaschinenbau, Technische Mitteilungen (1986) 1, S. 18 u. 19
[14] *Reiche, H.; Berger, D.:* Antriebsgerechte Motorenauswahl mittels Kleinrechner. ELEKTRIE, Berlin 40 (1986) 2, S. 48–50
[15] *Halle, H.:* Rechnergestützte Auswahl des mechanischen Übertragungselementes von VEM-Standardmotoren. ELEKTRIE Berlin 42 (1988) 5, S. 182
[16] *Muschter, F.*, u.a.: Rechnergestützte belastungsgerechte Auswahl von Getriebemotoren. Elektromaschinenbau, Technische Mitteilungen (1987) 1, S. 15–17
[17] *Muschter, F.*, u.a.: Belastungsgerechte Auswahl und Prokejtierung von Getriebemotoren. ELEKTRIE, Berlin 41 (1987) 2, S. 44–46
[18] *Reiche, H.:* Lebensdauerorientierter Einsatz von elektrischen Antrieben. Energieanwendung (1987) 5, S. 177–179

EA 6057

CAD-basierte Programmierung und Inbetriebnahme speicherprogrammierbarer Steuerungen auf der Grundlage nutzerorientierter graphischer Eingabefachsprachen

E. Habiger; V. Hammer, KDT, Dresden

Mitteilung aus der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden

Die Bereitstellung leistungsfähiger Arbeitsplatzrechnersysteme hat in Verbindung mit dem ständigen Bestreben zu betrieblicher Rationalisierung weltweit in allen ingenieurtechnischen Disziplinen zur Anwendung rechnergestützter Arbeitsweisen und speziell in den Bereichen der Entwicklung, Konstruktion und Projektierung zum rechnergestützten Entwurf technischer Systeme geführt. Diese im internationalen Sprachgebrauch als CAD-Technologie (CAD Computer Aided Design) bekannte Arbeitsweise bringt auch in Verbindung mit der applikationsorientierten Programmierung speicherprogrammierbarer Steuergeräte entscheidende volkswirtschaftliche Vorteile, wenn bestimmte Randbedingungen gewährleistet sind.
Im folgenden werden, ausgehend von der Grundstruktur eines die Programmierung, Inbetriebnahme, Dokumentation und Programmarchivierung unterstützenden CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen, die wichtigsten effektivitätsbestimmenden Aspekte und Merkmale eines solchen Systems herausgearbeitet, das Konzept einer ersten Ausbaustufe für die bildschirmorientierte Programmierung in Kontaktplan- und Funktionsplantechnik vorgestellt und an einfachen Beispielen die praktische Anwendung gezeigt.

1. Grundstruktur und effektivitätsbestimmende Kriterien

Bild 1 zeigt die bekannte Struktur und grobschrittig den Projektierungs- und Realisierungsablauf eines Steuerungssystems mit speicherprogrammierbarer Steuerung (SPS). Durch das im folgenden beschriebene CAD-System werden konkret die Abwicklungsschritte 4.1, 5 und 6 im Bild 1 b) unterstützt. Bild 2 vermittelt die Grundstruktur des entsprechenden CAD-Systems. Die Implementierung der aufgabengemäß erforderlichen Steuerungsfunktion $\underline{a} = Op\,(\underline{e}, \underline{q})$ in den Maschinencode der Ziel-SPS einschließlich der Programmdokumentation und -archivierung wird in drei rechnergestützt abwickelbaren Arbeitsschritten vollzogen. Im Zuge der Programmerstellung (Bild 2, Schritt 1) wird ausgehend von entsprechenden Vorfeldarbeiten unter Verwendung einer problem- und nutzerangemessenen Eingabefachsprache (Anweisungsliste, Kontaktplan. Funktionsplan, vgl. TGL 44590) und unter Nutzung von Archiv-

Prof. Dr.-Ing. habil. *Ernst Habiger* ist Inhaber des Lehrstuhls für Industrielle Steuerungstechnik an der Sektion Elektrotechnik an der Technischen Universität Dresden, Dr.-Ing. *Volkmar Hammer* ist Forschungsingenieur im VEB NUMERIK „Karl Marx, Karl-Marx-Stadt.

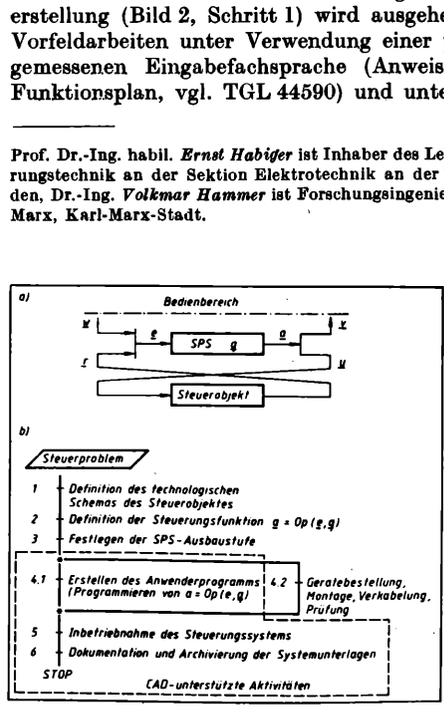


Bild 1
a) Struktur eines Steuerungssystems mit SPS
$\underline{w}$ Führungsgrößen
$\underline{r}$ Rückmeldegrößen
$\underline{v}$ Meldegrößen
$\underline{u}$ Stellgrößen
$\underline{q}$ Zustandsgrößen der Steuereinrichtung
$\underline{e} = (\underline{w}, \underline{r})$ Eingangsgrößen der Steuereinrichtung
$\underline{a} = (\underline{u}, \underline{v})$ Ausgangsgrößen der Steuereinrichtung
b) Projektierungs- und Realisierungsablauf bei SPS

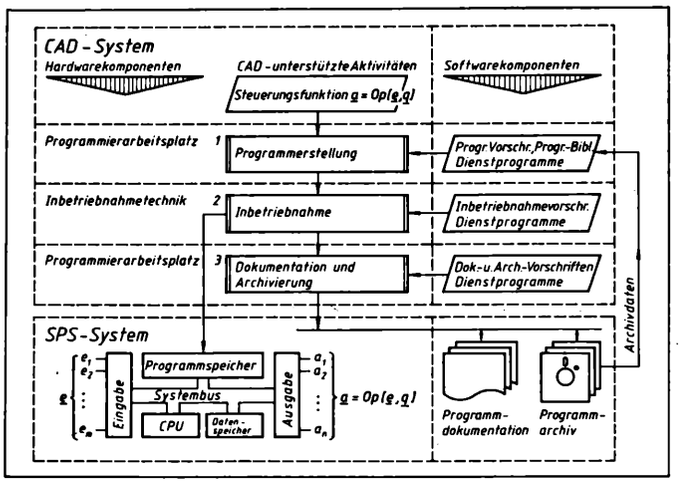


Bild 2. Grundstruktur eines CAD-Systems für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)

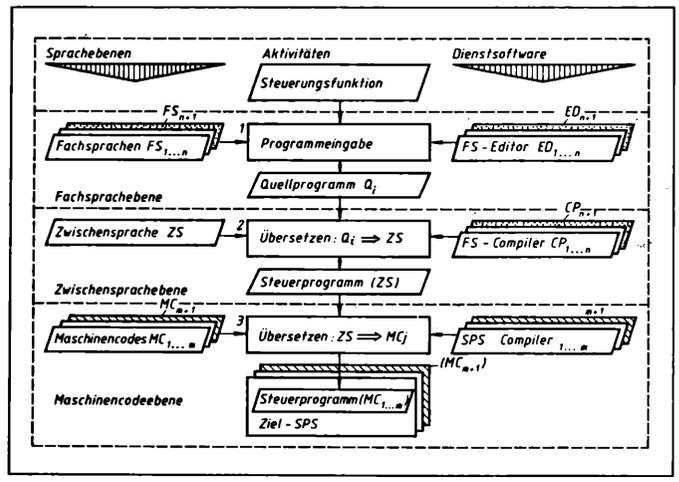


Bild 3. Nach oben offenes SPS-Softwarekonzept

daten ein der gewünschten Steuerungsfunktion $\underline{a} = \mathrm{Op}\,(\underline{e}, \underline{q})$ entsprechendes Quellprogramm aufgebaut, das im Bildschirmdialog mit Hilfe dafür bereitstehender Dienstprogramme editiert, auf syntaktische Fehler getestet und daran anschließend in den Maschinencode der Ziel-SPS übersetzt wird. Im nächsten Schritt (Bild 2, Schritt 2) erfolgt die Inbetriebnahme der Steuerung. Das heißt, das erstellte Steuerprogramm wird in den Inbetriebnahmespeicher einer mit dem Programmiergerät on-line gekoppelten SPS geladen und an einem Prozeßmodell oder auch Vorort am realen Steuerobjekt schrittweise ausgetestet und ggf. erforderliche Änderungen eingearbeitet.

Im dritten und letzten Schritt (Bild 2, Schritt 3) werden der aktuelle Programminhalt dokumentiert und archiviert und andere serviceunterstützende Systemunterlagen wie Referenzlisten bei symbolischer Adressierung und Querverweislisten automatisch generiert und ausgedruckt.

Der Einsatz entsprechender CAD-Systeme ermöglicht dabei im Rahmen der Programmerstellung und Inbetriebnahme eine Reduktion des Ingenieurstundenaufwandes um 40 bis 60% und im Bereich der Dokumentation und Archivierung bis zu 95%.

2. Effektivitätsbestimmende Kriterien

Folgende Aspekte bestimmen aus volkswirtschaftlicher Sicht die Leistungsfähigkeit, die effektive Nutzbarkeit sowie die langfristige ökonomische Tragfähigkeit eines solchen Systems:

- Die Möglichkeit des dialogorientierten, bedienergeführten Programmaufbaus (Menütechnik) sowie die automatische Testung des Anwenderprogramms auf syntaktische Fehler bzw. Ablauffähigkeit, wodurch subjektive Eingabefehler vermieden werden und der mit ihrer Suche und Behebung verbundene Zeitaufwand entfällt.
- Die weitgehend papierlose, rechnergestützte bzw. rechnerautomatisierte Abwicklung der Schritte 1 bis 3 im Bild 2, wodurch manuelle Schreib- und Zeichenarbeiten drastisch reduziert, der Papierverbrauch eingeschränkt und u.a. die Abwicklung der Entwurfs- und Inbetriebnahmearbeiten auf mehrschichtig nutzbaren Arbeitsplätzen begünstigt wird.
- Die Verfügbarkeit einer hardware- und softwaremäßig zu den handelsüblichen Büro-, Personal- und Arbeitsplatzcomputern paßfähigen steuerungsspezifischen Programmier- und Inbetriebnahmegerätetechnik, damit Programmerstellung, Dokumentation und Archivierung auf möglichst allen verfügbaren Arbeitsplatzrechnersystemen durchführbar sind.
- Der Einsatz anwenderfreundlicher, traditioneller Gewohnheiten der Steuerungsentwickler Rechnung tragender und zu internationalen Normungsbestrebungen (siehe z.B. [1] bis [4]) paßfähiger, insbesondere graphischer Programmierfachsprachen, um den Schulungsaufwand möglichst niedrig zu halten, den bei den Entwicklern vorhandenen Erfahrungsschatz voll zu nutzen, die Versteh- und Interpretierbarkeit der Programmdokumentationen zu erhöhen und die Exportfähigkeit von Erzeugnissen mit darin integrierten SPS-Systemen zu unterstützen.
- Die Orientierung der Programmiertechnologie auf die Erstellung modularer strukturierter Programme unter Verwendung vorgefertigter Funktions- und Programmbausteine für häufig wiederkehrende Standardfunktionen und Anwenderroutinen sowie unter Verwendung bereits früher erstellter Programme und Programmteile, die ggf. nur neu zu parametrieren bzw. geringfügig abzuändern sind.
- Die Verwendung eines weitgehend steuerungstyp- und steuerungsgerätegenerationsunabhängigen, nach oben offenen Implementierungskonzepts (Bild 3), wonach das Steuerprogramm zunächst in einer problemgeeigneten Fachsprache FS_i formuliert und mit einem entsprechenden Fachsprachen-Editor ED_i editiert (Bild 2, Schritt 1), danach die so entstandene Quelle Q_i, mit dem Fachsprachen-Compiler CP_i in eine Zwischensprache ZS übersetzt (Bild 3, Schritt 2) und anschließend mit einem steuerungsspezifischen Compiler (SPS-Compiler) in den Maschinencode MC_i der Zielsteuerung übertragen wird (Bild 3, Schritt 3).

Eine solche Vorgehensweise gewährleistet, daß

— beim Hinzukommen einer neuen Eingabefachsprache FS_{n+1} nur ein neuer Fachsprachen-Editor ED_{n+1} sowie ein neuer Fachsprachen Compiler CP_{n+1} zu schaffen sind.

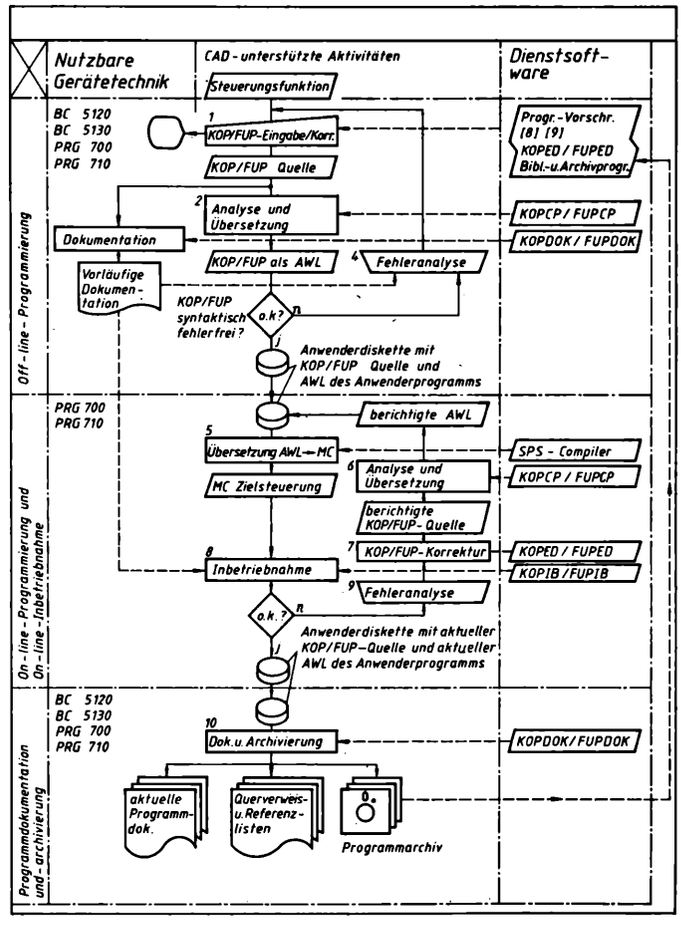


Bild 4. CAD-orientierte Programmier- und Inbetriebnahmetechnologie auf der Basis von Kontaktplan und Funktionsplan

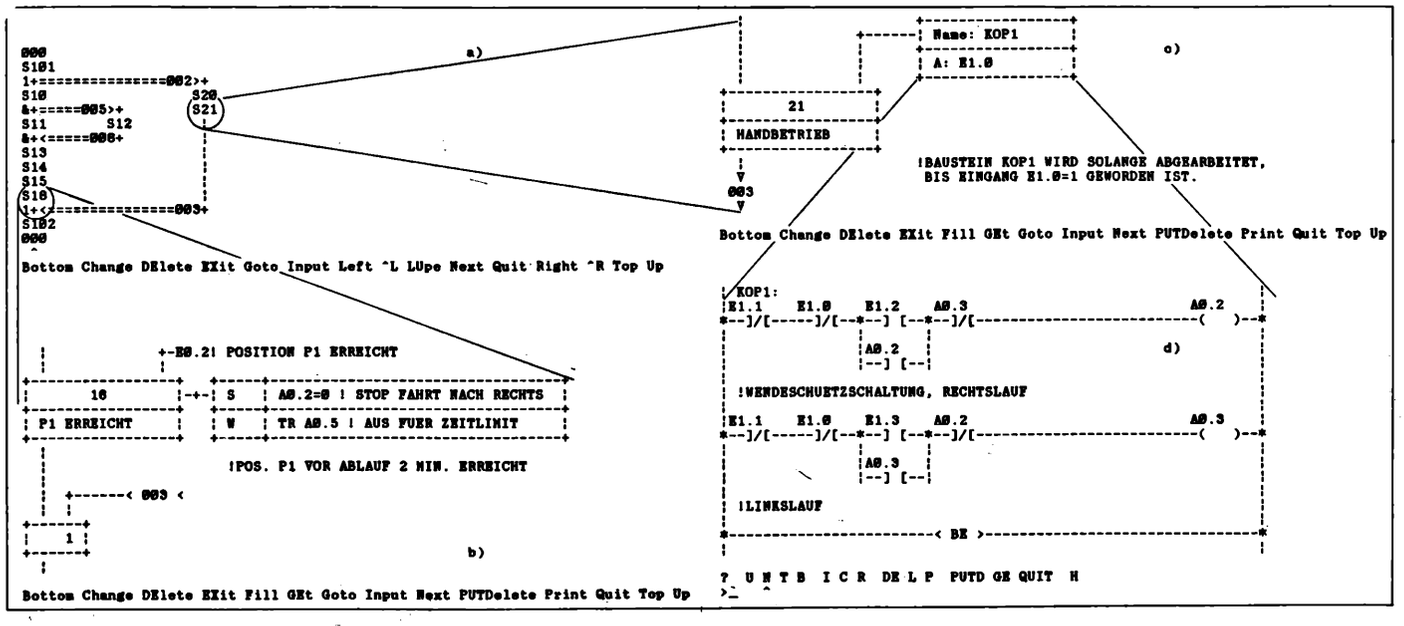


Bild 5. Anwenderprogrammeingabe auf Fachsprachniveau
a) FUP-Grobstruktur
b), c) Lupendarstellung Schritt 16 bzw. 21
d) Lupendarstellung des KOP-Bausteines zu Schritt 21

— beim Hinzukommen eines neuen Steuerungstyps (einer neuen Steuerungsgeneration) nur ein neuer SPS-Compiler für die Übersetzung aus dem Zwischencode ZS in den Maschinencode MC_{m+1} des neuen Steuerungssystems zu erarbeiten ist.
Alle einmal erstellten auf dem Zwischensprachniveau vorliegenden Steuerprogramme können damit sehr einfach auf neue Steuerungssysteme übertragen werden. Voraussetzung dafür allerdings ist, daß die Prozessoren des neuen Systems den Befehlsvorrat der Zwischensprache verarbeiten können. Das ist durch den Hersteller der SPS zu gewährleisten.
• die Abwicklung der Mensch-Maschine-Kommunikation in allen Phasen des CAD-Prozesses ausschließlich auf der Ebene der jeweils verwendeten Fachsprache erfolgt.

3. Programmier- und Inbetriebnahmetechnologie in Kontaktplan- und Funktionsplantechnik

Im Auftrage des VEB NUMERIK „Karl Marx" wurde an der Technischen Universität Dresden, Sektion Elektrotechnik, in Kooperation mit der TU Karl-Marx-Stadt, die Erarbeitung eines CAD-Systems für SPS in Angriff genommen, für den Einsatz der grafischen Eingabefachsprachen Kontaktplan (KOP) und Funktionsplan (FUP) entsprechend TGL 44590 in einer ersten Ausbaustufe fertiggestellt [2] [8] [9] [11] und in die industrielle Nutzung überführt. Bild 4 gibt eine Übersicht über verfügbare Dienstsoftware, über die für den CAD-Prozeß nutzbare Gerätetechnik sowie über die Entwurfs- und Inbetriebnahmeabwicklung. Letztere ist für beide Fachsprachen einheitlich, wodurch die gemischte Anwendung der beiden Fachsprachen in einem Anwenderprogramm, z.B. der KOP zur Notierung der Weiterschaltbedingungen in einem FUP, möglich ist. Wesentliche rechnerunterstützt ausführbare Abwicklungsschritte sind

— Programmeingabe und -korrektur
— Analyse und Übersetzung des Quellprogramms
— Inbetriebnahme des SPS-Systems
— Dokumentation und Archivierung des Anwenderprogramms.

Alle Schritte werden auf der Basis der jeweiligen Eingabefachsprache realisiert.
Die Kontaktplantechnik empfiehlt sich insbesondere

— für kleine und mittlere SPS-Systeme. die konventionelle Relais- und Schützensteuerungen ablösen
— zur Beschreibung funktioneller Komponenten mit hohem Verknüpfungsanteil innerhalb von ablauforientierten Steuerungen, d.h. als KOP-Baustein in Funktionsplänen zur Darstellung von Weiterschalt- und Freigabebedingungen.
Die Funktionsplantechnik ist im Gegensatz dazu speziell für ablauforientierte ein- oder mehrkettige, auch parallelläufige Steuerungsprozesse geeignet, d.h.

— für ablauforientierte Steuerungsaufgaben kleinen und mittleren Umfangs, wobei stark verknüpfungsorientierte Komponenten über M-Befehl, AWL- oder KOP-Baustein effektiv eingebunden werden können
— sowie für verkettete hierarchisch strukturierte Prozesse.

4. Anwendungsbeispiele

Symbolvorrat und konkrete Beispiele für die Anwendung des Kontaktplanes bzw. des Funktionsplanes findet man in [8] [9] [11] ausführlich dargestellt.
Der Funktionsplan bietet die Möglichkeit, andere Fachsprachen, z.B. die AWL gemäß [5] oder den KOP gemäß [7], in das Programm mit einzubeziehen.
Entsprechende Beispiele sind im Bild 5 dargestellt.
Bild 5a) zeigt zunächst die FUP-Grobstruktur (Funktionsplan-Editor, Hardcopy vom Bildschirm) für ein Steuerobjekt in Anlehnung an [9]. Die Grobstruktur wird im Sinne des Top-Down-Entwurfs weiter verfeinert, und zwar werden im Lupenverfahren die einzelnen Schritte hinsichtlich Weiterschaltbedingung und der zu erteilenden Befehle präzisiert [Bilder 5b) und 5c), Funktionsplan-Editor, Hardcopy vom Bildschirm]. Eine weitere Untersetzung mit Einbindung anderer Fachsprachen (AWL, KOP) zeigt Bild 5d) (Kontaktplan-Editor, Hardcopy vom Bildschirm). Nach Abschluß der Programmeingabe wird am Entwicklungssystem die Compilierung realisiert, die Inbetriebnahme durchgeführt und schließlich das aktuelle Anwenderprogramm dokumentiert.

Literatur

[1] Speicherprogrammierbare Steuerungsgeräte. Programmiersprachen. VDI 2880, Blatt 4 (Entwurf) Dez. 1982
[2] Regeln und grafische Symbole für Funktionspläne, Schaltungsunterlagen. DIN 40719, Teil 6, März 1977
[3] Steuerungstechnik. Speicherprogrammierbare Steuerungen. Programmierung. DIN 19235, Mai 1983
[4] Programmable Controllers, Part 3, Specification for Programming Languages. IEC-Entwurf 65A(SEC)49; January 1985
[5] Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen. Darstellung des Anwenderprogramms, Anweisungsliste, TGL 44590/01; April 1987
[6] Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen. Darstellung des Anwenderprogramms, Funktionsplan, TGL 44590/02; Februar 1988
[7] Be- und Verarbeitungsmaschinen mit speicherprogrammierbaren Steuerungen. Darstellung des Anwenderprogramms, Kontaktplan, TGL 44590/03; Februar 1988
[8] SPS-Programmier- und Inbetriebnahmeanleitung; Kontaktplan (KOP), 501 403-5BS4. VEB NUMERIK „Karl-Marx", Karl-Marx-Stadt, Technischer Stand: Nobember 1988
[9] SPS-Programmier- und Inbetriebnahmeanleitung; Funktionsplan (FUP), 501 409-4BS4, VEB NUMERIK „Karl Marx", Karl-Marx-Stadt, Technischer Stand: November 1988
[10] *Hammer, V.:* Eingabemöglichkeiten bei PC-Systemen. 10. Wissenschaftliche Konferenz der Sektion Elektrotechnik der TU Dresden, 1984
[11] *Habiger, E.; Hammer, V.:* Ein CAD-System für speicherprogrammierbare Steuerungen. msr 30 (1987) 7, S. 295–301

EA 6055

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem – Verarbeitungsprinzipien und Grundstrukturen

K. Rothe; H.-J. Herrmann; KDT, Zittau

Durch die Entwicklung der Mikro- und Optoelektronik sind universell einsetzbare Baueinheiten und Geräte für die Informationsverarbeitung und Datenübertragung entstanden, deren Leistungsfähigkeit auch die Lösung von Aufgaben der Schutztechnik in Elektroenergiesystemen ermöglicht. Die damit verbundene digitale Verarbeitung der elektroenergetischen Prozeßgrößen führt nicht nur schlechthin zu einer Ablösung der herkömmlichen Gerätetechnik, sondern erfordert ein komplexes Überdenken der weiterhin funktionell autark existierenden Schutzlösung und deren Einbindung in ein digitales Leitsystem.
Eine mit diesem Beitrag eröffnete Artikelserie verfolgt das Ziel, die Denkweise für die digitale Schutztechnik aufzuzeigen und Ergebnisse wissenschaftlich-technischer Arbeiten vorzustellen, die in enger Kooperation mit dem Kombinat Automatisierungsanlagenbau an der Sektion Elektroenergieversorgung und Anlagenautomatisierung der Technischen Hochschule Zittau entstanden sind. Sie dienen als Grundlage der Entwicklung einer neuen Generation der Schutzeinrichtungen.

1. Bedeutung der Mikrorechentechnik und Optoelektronik für die Schutztechnik

Die Anwendung einer neuen Generation der Automatisierungsmittel für die Anlagenautomatisierung vollzieht sich prinzipiell als Anpassungsprozeß zwischen dem zu automatisierenden Basissystem und dem gerätetechnischen Informationssystem. Für den schutztechnischen Einsatzfall der Mikrorechentechnik und Optoelektronik im Elektroenergiesystem charakterisiert Bild 1 den Problemkreis. Auf der Grundlage allgemein gültiger gesellschaftlich-technischer Entwicklungsforderungen haben das Elektroenergiesystem und das Gerätesystem der informationellen Mittel völlig unabhängig voneinander einen technischen Stand erreicht, der die technisch-ökonomische Realisierbarkeit eines digitalen Schutzes durch Schaffung betriebserprobter anwendungsreifer Lösungen bereits bewiesen hat [1] [2].
Die Triebkräfte für diese Entwicklung ergeben sich aus den allgemeinen technischen Eigenschaften der Mikroelektronik (Bild 1) und lassen sich für die Schutztechnik wie folgt darstellen:

1.1. Universelle Verarbeitungsmöglichkeit der Prozeßgrößen

Diese Eigenschaft ermöglicht es, mit einem ausgewählten Sortiment von Hardware-Grundstrukturen (Einchip-Mikrorechner, aufrüstbare Mehrrechnersysteme) allein durch Software-Variation beliebige Arbeitskennlinien der Schutzeinrichtung zu realisieren. Entwicklungsbedingt veränderte Forderungen des Schutzobjekts werden dadurch in geringerem Umfang als bei herkömmlichen Schutzsystemen Neuentwicklungen erfordern.

1.2. Vermögen zur Verarbeitung großer Datenmengen in kurzer Zeit

Diese Eigenschaft revolutioniert die Arbeitsweise des herkömmlichen Schwellwert-Meßglieds, das grundsätzlich auf die Einpunkt-Überwachung eines Ansprechwertes (Mittelwert einer Wechselgröße, Momentanwert oder Signaldauer einer integralen Hilfsgröße) orientiert ist. Die hohe Datenverarbeitungskapazität der Mikrorechentechnik ermöglicht eine hohe Zeitauflösung, damit das Abtasten des Momentanwertverlaufs der Prozeßgröße zu äquidistanten Zeitpunkten in einem Abstand von derzeitig etwa 1 ms (untere Grenze wird durch die Forderung des Echtzeitbetriebs in der Schutztechnik bestimmt), demzufolge neue Schutzkriterien prinzipiell erschließbar sind. Sie führt schließlich zu einer Funktionserweiterung der klassischen Schutzeinrichtung, läßt auf bisher getrennte Gerätekomplexe des Schutzsystems verteilte Funktionen im Schutzrechner zusammenführen und macht überflüssig: Zwischen- und Anpassungswandler für Phasenwinkel- und spezielle Betragstransformation (z.B. mit nichtlinearer Charakteristik), separate AWE-Einrichtungen, Schalterversagerschutzautomatiken u.ä.

1.3. Fähigkeit zur Speicherung großer Datenmengen

Diese Eigenschaft eröffnet die Möglichkeit, mehrere Arbeitskennlinien der Schutzeinrichtung gleichzeitig zu speichern und durch externe Steuerbefehle einzustellen (automatische Umstaffelung bei Schaltzustandsänderungen, Empfindlichkeitsänderung des Differentialschutzes in Abhängigkeit der Stufenschalter-Stellung). Sie ermöglicht ferner die Erweiterung der Schutzfunktion um die Aufgabe der Störgrößenerfassung durch Implementierung der Transientenrecorderfunktion. Die ohnehin vorliegenden quasi-momentanwertgetreuen Prozeßdaten können innerhalb eines „Zeitfensters" gespeichert und auf Abruf für die Analyse des Vorfehler-, Übergangs- und Fehlerzustandsgeschehens genutzt werden.

1.4. Förderung des Intensivierungsprozesses bei der Produktion und Betriebsführung digitaler Schutzeinrichtungen

Neben den technischen Vorzügen des digitalen Schutzes werden Effekte sichtbar, die das Ziel der Intensivierung volkswirtschaftlicher Prozesse wirksam unterstützen. Der modulare Aufbau aus universell verwendbaren Baueinheiten (Analog-Digital-Umsetzer, Speicherschaltkreise, Mikroprozessoren, Bussysteme, Interface, Arithmetikprozessoren, Optokoppler, Lichtwellenleiter usw.) schafft die Möglichkeit zur Steigerung der Arbeitsproduktivität beim Hersteller von Schutzsystemen. Die Implementierung von Überwachungsroutinen und Testprogrammen führt zur Verringerung des manuellen Prüfaufwandes während der Betriebsphase des Schutzsystems zum Nutzen des Betreibers von Elektroenergiesystemen. Schließlich wirken Miniaturisierung, Materialsubstitution und Gewichtsverringerung im Sinne einer Materialeinsparung besonders bei Kupfer und Stahl in Anbetracht der gesamten Anlagengestaltung.
Mit der Hervorhebung der Triebkräfte bei der Entwicklung des digitalen Schutzes dürfen jene technischen Probleme nicht unterbewertet werden, die bei ihrer Mißachtung das angestrebte Ziel verfehlen: die Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit und die von Schutzsystemen in besonders hohem Maß geforderte Funktionszuverlässigkeit.

Prof. Dr. sc. techn. *Klaus Rothe* ist Inhaber des Lehrstuhls Elektroenergieversorgung/Schutztechnik an der Sektion Elektroenergieversorgung und Anlagenautomatisierung der TH Zittau,
Dr.- Ing. *Hans-Joachim Herrmann* ist wissenschaftlicher Oberassistent am gleichen Lehrstuhl.
[1]) Die Arbeit entstand im Rahmen eines Auftrages der FG „Elektroenergietransport" (ELTRA) des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau.

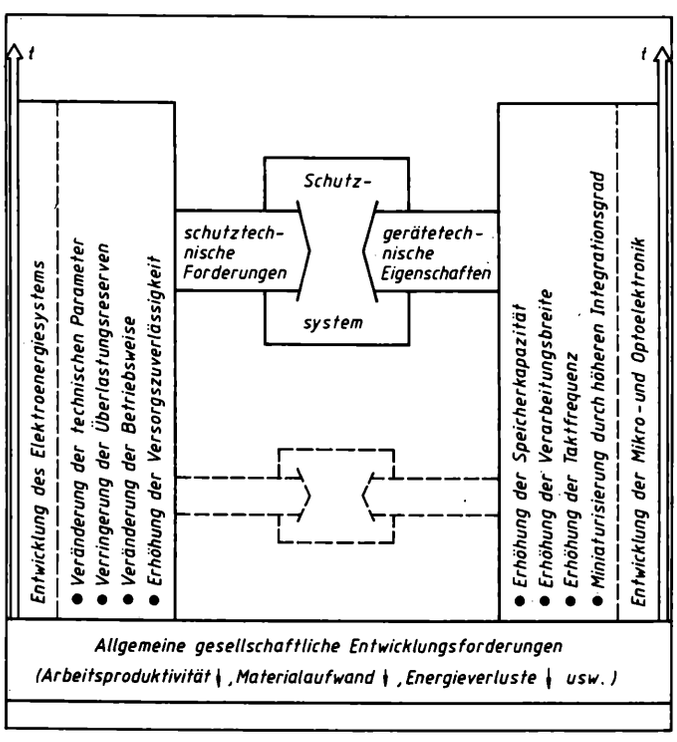


Bild 1. Umfeldbedingungen für die Entwicklung des digitalen Schutzes

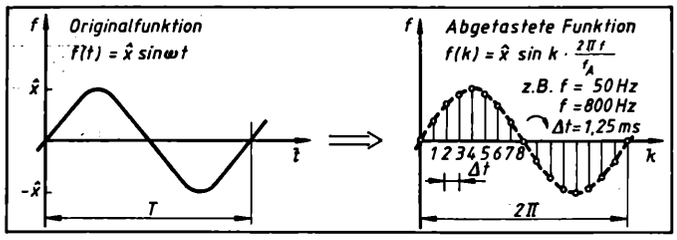


Bild 2. Abtastung einer kontinuierlichen Zeitfunktion

2. Soft- und Hardware-Grundstrukturen

2.1. Verarbeitungsprinzip der Prozeßgrößen

Mit dem Übergang zu Schutzeinrichtungen auf Mikrorechnerbasis verändert sich die Form der Signalverarbeitung. Werden in bisherigen Relais auf elektrodynamischen und elektronischen Wirkprinzipien nur kontinuierlich-analoge bzw. kontinuierlich-binäre Signale verarbeitet, so erfordert der Mikroprozessor die Signalwandlung analog zu digital und führt zwangsläufig zu einer zeitdiskreten Verarbeitung der analogen Eingangsgrößen. Das bedeutet, daß das Eingangssignal zur Einhaltung des Abtasttheorems tiefpaß-gefiltert, anschließend abgetastet und analog-digital gewandelt wird (siehe auch Abschn. 2.3.1.). Die damit verbundene Schreibweise für digitale Signale sei an der Abtastung einer beliebigen Zeitfunktion erläutert.

$$f(t) \xrightarrow{\text{Abtastung}} f(k\,\Delta t) \xrightarrow{\Delta t = \text{const}} f(k) \text{ vereinfacht } f_k .$$

Durch äquidistante Abtastung von $f(t)$ mit der Abtastperiode $\Delta t = \frac{1}{f_A}$ (Abtastintervall) erhält man $f(k\,\Delta t)$ und da für den Meßvorgang Δt konstant ist, wird $f(k)$ bzw. f_k anstelle $f(k\,\Delta t)$ geschrieben. Dabei ist k ein dimensionsloses Argument. Für ein sinusförmiges Eingangssignal ergibt sich folgende Schreibweise:

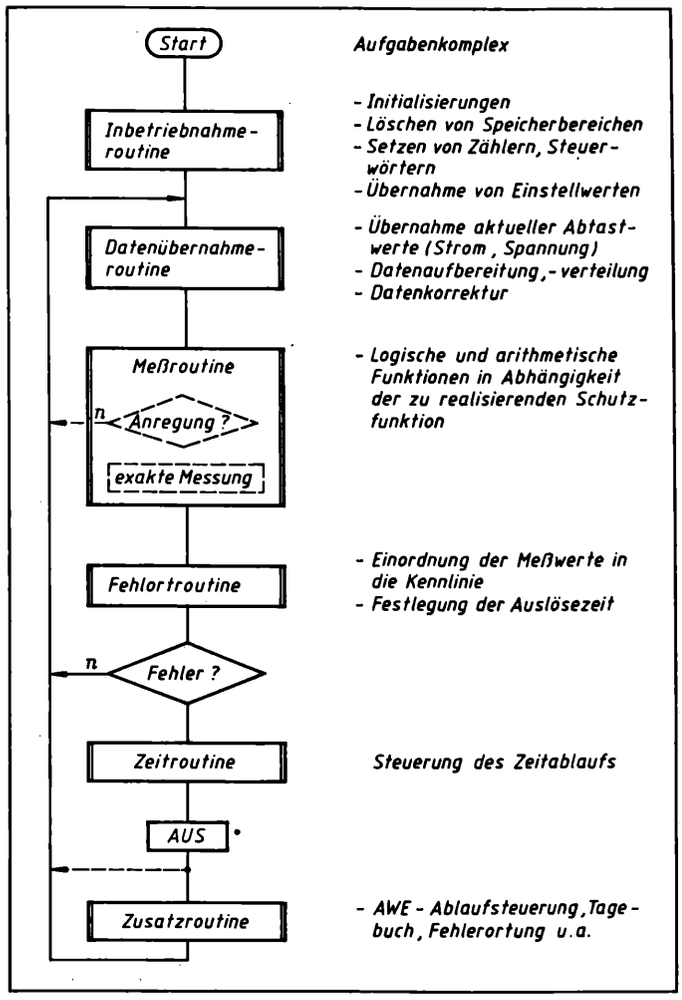


Bild 3. Allgemeine Softwarestruktur eines digitalen Schutzes

$$f(t) = \sin \omega t \xrightarrow{\text{Abtastung}} f(k\,\Delta t) = \sin \omega\, k\,\Delta t \xrightarrow{\Delta t = \text{const}} f(k) = \sin \frac{\omega k}{f_A} . \quad (1)$$

Die grafische Darstellung des genannten Sachverhaltes zeigt Bild 2.

2.2. Software-Grundstruktur

In der Digitaltechnik bestimmt hauptsächlich die Software die Schutzfunktion, wobei die Gerätetechnik in Form von standardisierten und zugleich modularen Mikrorechnerbausteinen im wesentlichen immer die gleiche ist. Es läßt sich relativ unabhängig von der speziellen Schutzaufgabe eine Grundstruktur der Software angeben, die im Bild 3 gezeigt ist.

In einer Inbetriebnahmeroutine erfolgt neben der Rechnervorbereitung (Initialisierung) die Einstellung des Schutzes. Sie wird stets beim Systemneustart, bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Ausgangsbedingung, durchlaufen.

Die nachfolgende Datenübernahmeroutine sichert die Übernahme der digitalen Daten entsprechend der Schutzfunktion (Art und Anzahl). Die Koppelstelle kann direkt der Analog/Digital-Umsetzer oder ein serielles Interface sein. Aufgabenspezifisch können die Abtastwerte aufbereitet und innerhalb des Schutzrechners verteilt werden. Zur Gewährleistung einer hohen Zuverlässigkeit müssen Maßnahmen für eine Fehlerkennung [3] und entsprechende Korrekturen vorgesehen werden.

In der Meßroutine erfolgt die Verarbeitung der Abtastwerte in Abhängigkeit des zu realisierenden Schutzkriteriums, das wesentlich Art und Umfang (Gewährleistung einer hohen Meßgenauigkeit verbunden mit einer kurzen Reaktionszeit) der Meßalgorithmen bestimmt. An der Lösung der Meßaufgabe können durchaus mehrere Prozessoren beteiligt sein. Weiterhin denkbar ist es, gemäß der klassischen Schutztechnik eine Trennung in Anregung (Verwendung einfacher Algorithmen und damit Schaffung von Reserven für andere Zusatzaufgaben) sowie exakte Messung (auf der Basis komplizierter Algorithmen) vorzunehmen.

Die Fehlerortroutine nimmt eine Einordnung der Meßergebnisse in die schutzspezifische Kennlinie vor, wobei generell beliebige Kennlinien möglich sind. Im Fehlerfall wird eine Zuordnung der Kommandozeit vorgenommen, deren ordnungsgemäße Umsetzung die Zeitroutine steuert. Sie muß programmtechnisch so ausgeführt sein, daß die Schutzeinrichtung stets in der Lage ist, korrekt auf Fehlerort- und -artveränderungen zu reagieren. Ist die Kommandozeit abgelaufen, folgt der AUS-Befehl. In einer Zusatzroutine können bei entsprechenden Zeitreserven weitere Aufgaben gelöst werden. Neben der Führung eines Betriebstagebuches, detaillierter Angaben zum Fehlerort, der AWE-Ablaufsteuerung u.a. sind vor allem Selbstüberwachungsfunktionen zu implementieren. Als sinnvoll erscheinen Speichertests, Überprüfung der Ein- und Ausgabekanäle einschließlich Analog/Digital-Umsetzer, Kontrolle der Einstellwerte und Zeitüberwachung des Programmdurchlaufs (watchdog).

Die Umsetzung der Zusatzroutine erfolgt in enger Verflechtung mit anderen Unterprogrammkomplexen.

2.3. Hardware-Grundstruktur

2.3.1. Meßwerterfassung

In der im Bild 4 angegebenen Grundstruktur eines digitalen Schutzes ist der Funktionskomplex Meßwerterfassungseinheit in der Feldebene installiert. Die Aufgabe der Aufbereitung der analogen Eingangsgrößen für eine digitale Weiterverarbeitung erfüllen nachfolgende Baugruppen:

Anpassung

Die elektrischen Eingangssignale Strom und Spannung ($I_n = 1$ A; 5 A und $U_n = 100/\sqrt{3}$ V; $400/\sqrt{3}$ V) sind in einem durch die nachfolgende Elektronik verarbeitbaren Spannungsbereich (übliche Grenzwerte $\pm$ 10 V) zu wandeln. Gleichzeitig ist zum Schutz der Elektronik (z.B. Potentialanhebungen auf der Masseleitung) eine galvanische Trennung notwendig.

a) Galvanische Trennung nach magnetischem Wirkprinzip

Die klassische und am meisten angewandte Lösung ist der Einsatz von Übertragern zur Strom- und Spannungstransformation. Der Dynamikbereich des Stromes stellt hohe Anforderungen an die Bemessung des Stromwandlers. Nach [8] ist eine Abstimmung des Primär- und Geräteeingangswandler insbesondere im Hinblick auf das transiente Verhalten vorzunehmen (Überstromzahl, Wandler- und Netzzeitkonstante).

b) Galvanische Trennung nach optischem Wirkprinzip

Durch den Einsatz von Trennverstärkern („aktiver" Übertrager)

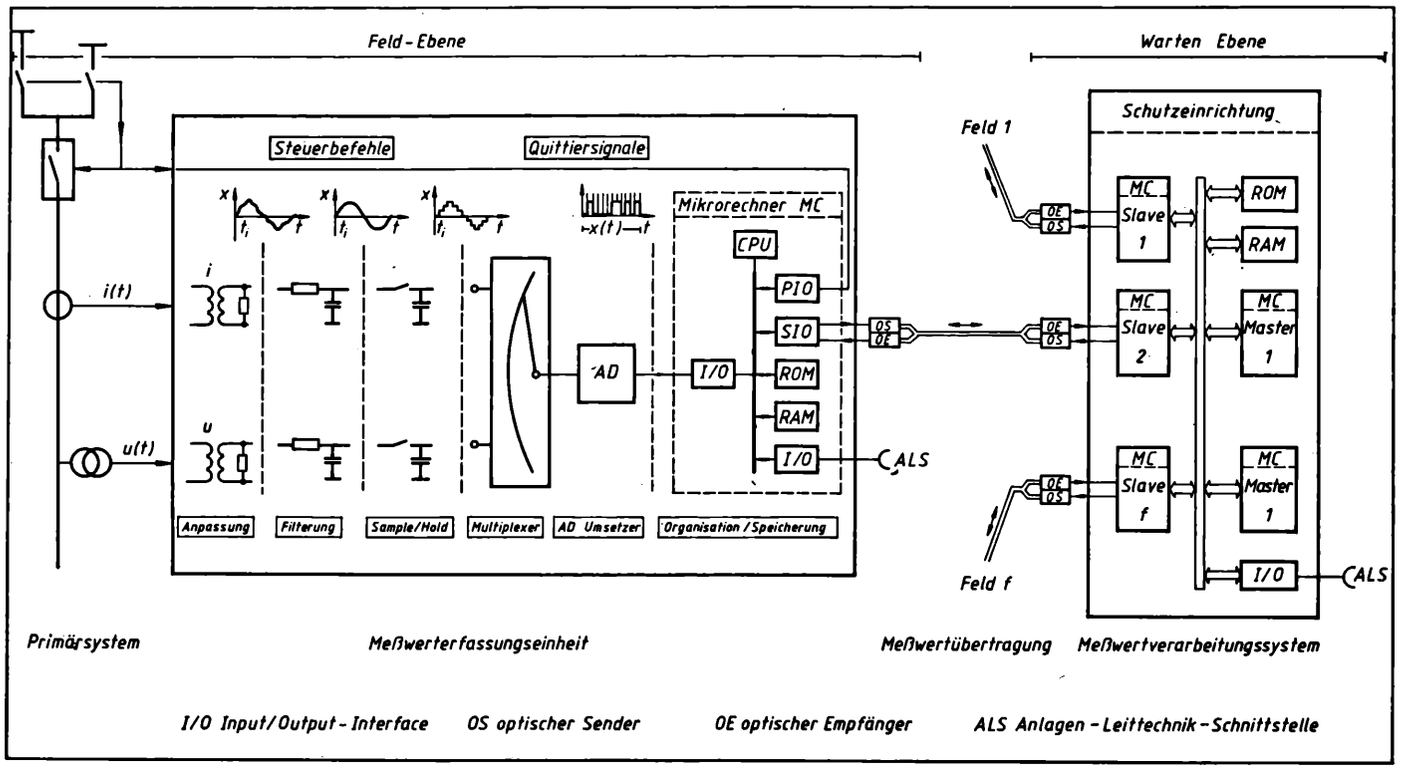


Bild 4. Grundstruktur des digitalen Schutzsystems

ist es möglich, eine Potentialtrennung mit ausreichendem Isolationsvermögen zu realisieren. Beim Isolationsverstärker muß die optische Trennstelle für eine Analoggrößenübertragung (hohe Anforderungen an die Linearität) ausgelegt sein. Weiterhin gilt als Randbedingung die Bereitstellung einer separaten, galvanisch getrennten Hilfsenergieversorgung.

Die Lösung nach Bild 5 bietet als Alternative die Speisung von der Sekundärseite über Ferritkernübertrager. Über diesen Weg erfolgt auch die Synchrontaktübertragung, die die Grundlage für die Anwendung der Pulsphasenmodulation zur Signalcodierung ist. Durch die primärseitige Analog-Binär-Wandlung kann ein Optokoppler (geringe Linearitätsforderungen) zur Potentialtrennung eingesetzt werden [9]. Die Praxisanwendung erfordert eine Ausführung als Hybridschaltkreis.

Filterung

Die Notwendigkeit ergibt sich aus der Einhaltung des Abtasttheorems, Bandbegrenzung auf die Hälfte der Abtastfrequenz, um Aliasingeffekte zu vermeiden. Aus dem Abtasttheorem folgt, daß es mehrere Signale geben muß, die bei einer bestimmten Abtastfrequenz gleiche Abtastwerte liefern:

$$X_1 \sin\left(\frac{\omega_1 i}{f_A} + \varphi_1\right) = X_2 \sin\left(\frac{\omega_2 i}{f_A} + \varphi_2\right) \tag{2}$$

mit $\omega_1 \neq \omega_2$ und $i \in G$.

Der Koeffizientenvergleich ergibt:

$$X_1 = X_2, \tag{3}$$

$$\frac{\omega_1 i}{f_A} + \varphi_1 = \frac{\omega_2 i}{f_A} + \varphi_2, \tag{4}$$

$$\varphi_1 = \varphi_2. \tag{5}$$

Bei Berücksichtigung der Periodizität der Sinusfunktion läßt sich die Lösung finden:

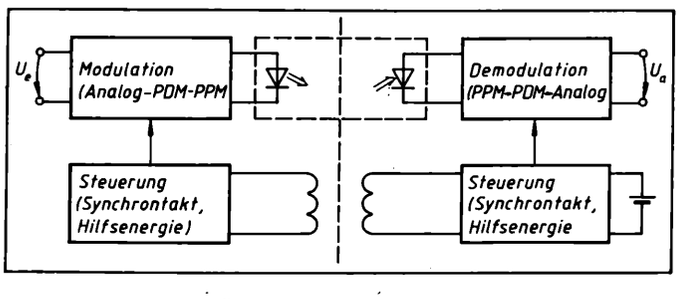


Bild 5. Unkonventioneller Übertrager

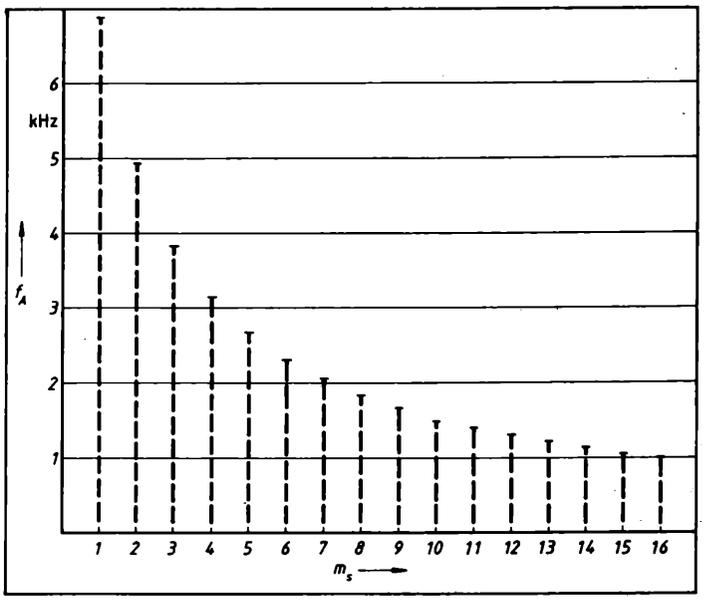


Bild 6. Mögliche Abtastfrequenzen eines entwickelten Meßwerterfassungssystems [11]

$$\sin(x) = \sin(x + \mathrm{j}\, 2\pi), \tag{6}$$

$$\frac{\omega_1 i}{f_A} + \mathrm{j}\, 2\pi = \frac{\omega_2 i}{f_A}, \tag{7}$$

$$\omega_1 + \frac{\mathrm{j}}{i} 2\pi f_A = \omega_2.$$

Mit $\mathrm{j}/i = K$ folgt

$$\omega_1 + K\,\omega_A = \omega_2. \tag{8}$$

Die Zentralsymmetrie der Sinusfunktion führt zur weiteren Lösung

$$K\,\omega_A - \omega_1 = \omega_2. \tag{9}$$

Die Gleichungen (8) und (9) lassen die Schlußfolgerung zu, daß Signale, deren Amplitudenspektren symmetrisch zu f_A oder $f_A/2$ liegen, gleiche Abtastwerte liefern können.

Somit führen bei einer Abtastfrequenz von $f_A = 800$ Hz und einer verarbeitbaren Signalfrequenz $f_S = 50$ Hz erst Frequenzen von 750 Hz bzw. 850 Hz zu einem Anteil zum 50-Hz-Signal. Das bedeutet, daß bei der Dimensionierung des Filters die zum Nutzsignal mögliche Spiegelfrequenz auf $q/2$ zu bedämpfen ist. Auf Grund der Linearität im Durchlaßbereich des geringen Überschwingens wer-

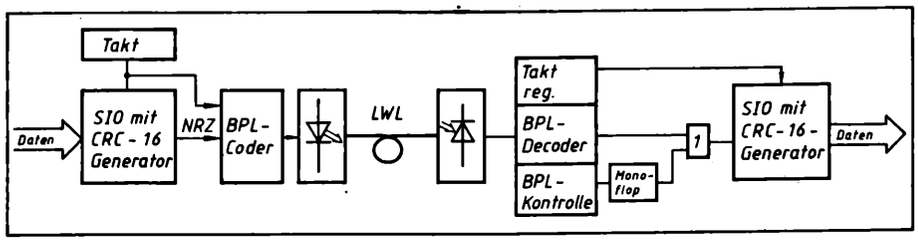


Bild 7. Kaskadierte Fehlererkennung

den meistens Butterworth-Filter verwendet. Praktikable Grenzen des Filtergrades liegen bei 5. Bei der Filterdimensionierung ist die Methodik nach [10] anzuwenden.

Sample and Hold

Wird eine momentanwertgetreue Signalabbildung (Auswertung von Betrag und Phase) gefordert, so bedingen Analog-Digital-Umsetzer nach der suksessiven Approximation ein konstantes Analogsignal am Eingang.

Bei sinusförmiger Eingangsspannung und Vollaussteuerung darf die maximale Signaländerung im Nulldurchgang $q/2$ betragen. Die maximal verarbeitbare Frequenz ist bestimmbar mit

$$f_{max} \leqq \frac{1}{4\,\pi\,2^n\,t_c}. \tag{10}$$

Bei einem 12-bit-ADU mit einer typischen Umsetzzeit $t_c \approx 24\ \mu s$ wäre die maximal verarbeitbare Frequenz auf $f_{max} < 0{,}8$ Hz begrenzt.

Multiplexer und Analog-Digital-Umsetzer

Die konkrete schaltungstechnische Ausführung ergibt sich aus den verfügbaren Schaltkreisen, den zeitlichen Anforderungen, den Kosten und der geforderten Zuverlässigkeit.

Eine einfache, billige und vielen Ansprüchen genügende Lösung ist die Realisierung als serielles System gemäß Bild 4. Die Meßstellenanwahl erfolgt durch Software. Die Gesamtumsetzzeit t_{um} für m_s Meßstellen berechnet sich mit

$$t_{um} \approx m_s \cdot (t_c + t_P). \tag{11}$$

t_c Umsetzzeit des ADU, t_P Programmabarbeitungszeit.

Im Bild 6 sind die Umsetzzeiten eines in der Lehrgruppe „Schutztechnik" der TH Zittau entwickelten mehrkanaligen Meßwerterfassungssystems, umgerechnet in maximal mögliche Abtastfrequenzen, dargestellt [11].

Beim parallelen System wird je Meßstelle ein ADU vorgesehen, das infolge der seriellen Abarbeitung durch den Mikroprozessor auf der Digitalseite multiplext werden muß. Schaltungstechnisch günstige Lösungen ergeben ADU mit Tri-state-Ausgängen.

Die Gesamtumsetzzeit reduziert sich hier natürlich, wobei auch die Programmgestaltung einfacher ausgeführt werden kann (kleineres t_P):

$$t_{um} \approx m_s \cdot t_P + t_c. \tag{12}$$

Die Wahl der Wortbreite des ADU hängt von dem zu beherrschenden Dynamikbereich der Eingangsgröße und den Genauigkeitsforderungen ab. Da meistens 12-bit-ADU zur Verfügung stehen, ist gegebenenfalls eine Meßbereichsumschaltung vorzusehen.

Die Systemauslegung wird im nächsten Teil dieser Serie erläutert. Um den Forderungen nach einer ausreichenden Zuverlässigkeit zu genügen, sollte der ADU (am besten die gesamten Eingangskreise) durch Aufschalten definierter Referenzsignale geprüft werden. Beim seriellen System gemäß Bild 4 bieten sich z. B. freie Analogkanäle an.

Organisation/Speicherung

Einem Mikrorechnerminimalsystem kommen die Hauptaufgaben der Steuerung der AD-Umsetzung, der Zwischenspeicherung der Daten und der Weiterleitung über die optische Schnittstelle zum Meßwertverarbeitungssystem zu. Diese Aufgaben sind der Datenübernahmeroutine gemäß Bild 3 zugeordnet.

Mögliche Zusatzfunktionen können die Überwachung der Eingangsgrößen (Plausiblität, Vergleich untereinander), der Eingangskanäle und bei genügender Zeitreserve eine Vorverarbeitung der Abtastwerte, z. B. weitere Bandbegrenzung durch digitale Filter, sein.

2.3.2. Meßwertübertragung

Für die Signalübertragung bieten sich aus Gründen der Materialsubstitution, der Unempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Störungen, der galvanischen Trennung, hoher Übertragungskapazitäten und geringer Dämpfungen Lichtwellenleiter an. Für die Leit- und Automatisierungstechnik besteht bereits ein selbständiger Teil der LWL-Technik [3].

Dadurch, daß entgegen der herkömmlichen Praxis die Daten jetzt seriell mit einer hohen Datenrate (bei Anwendung die U 880-SIO z. B. typisch 500 kbit/s) zwischen Feld- und Warte übertragen werden, ergeben sich hohe Zuverlässigkeitsforderungen. Sie bedingen entsprechende redundante Systemstrukturen (Kanaldopplungen und Umschaltungen) sowie Übertragungsverfahren mit einer hohen Wahrscheinlichkeit der Fehlererkennung. Orientierend an einer mittleren Zeit zwischen 2 Fehlfunktionen (MTBF) in der Größenordnung von 1000 Jahren wurde im Ergebnis der Untersuchungen in [3] eine Kombination der Auswertung der zyklischen Blockcodierung (CRC-Fehler und Fehlerbündel mit den Längen < 16 werden sicher erkannt) und der Überwachung der Codeverletzung eines Biphasencodes (Erkennung von Fehlerbursts) vorgeschlagen. Bild 7 zeigt die prinzipielle schaltungstechnische Umsetzung. Das Fehlersignal der BPL-Codekontrolle wird so verlängert, daß es für mindestens 8 Takte high-aktiv ist. Damit ergibt sich bei jeder Kanalcodeverletzung eine Abbruchfolge die von der SIO sicher erkannt wird. Die SIO führt die CRC-Kontrolle aus. Beide Fehlersignale (Abbruchfolge = Kanalcodeverletzung, CRC-Fehler) stehen bei Blockende in einem Statusregister des SIO-Schaltkreises und sind auswertbar.

2.3.3. Meßwertverarbeitung

In diesem Funktionsblock ist die schutzspezifische Software gemäß Bild 3 umzusetzen. Konkrete Ausführungen der Hardwaregestaltung (Grundstrukturen) und Softwarekomponenten (begründete Algorithmenwahl) werden in weiteren Beiträgen dieser Artikelserie beschrieben. Die Meßwertübertragung (mit 500 kbit/s) in organischer Einheit mit dem Meßwerterfassungssystem muß gewährleisten, daß zeitgleich aufgabenspezifisch die erforderlichen Daten stets verfügbar sind.

Dabei können die mit Slave bezeichneten Single-Board-Rechner neben der Datenstrombewältigung Programmteile der Meßroutine abarbeiten. Zweckmäßig erscheint eine gerätemäßige Aufteilung auf die Schutzobjekte im Sinne „separater" Schutzeinrichtungen. Die höchsten Anforderungen an die Beherrschbarkeit des Datenstromes stellt der Sammelschienenschutz gefolgt vom Transformatorschutz. Für den Leitungsabgangsschutz ist auch eine Installation im Feld denkbar.

3. Zusammenfassung

Ausgehend von der Diskussion von Effekten und Erwartungshaltungen, die an den Einsatz von Mikroprozessoren in Schutzgeräten geknüpft werden, wurden die digitalen Softwaremodule und die Hardwarekomponenten erläutert. Dem Signalweg (Meßgrößengewinnung, -wandlung, -übertragung, -verarbeitung) folgend, wurde in die Denkweise der diskreten Signalverarbeitung eingeführt. Breiten Raum nahmen dabei die Elemente der Signalwandlung ein.

Bei der Auslegung des seriellen Datenübertragungskanals sind durch den Datenstrom und die Zuverlässigkeitsforderungen Randbedingungen gesetzt.

Die Untersetzung des Funktionskomplexes Meßwertverarbeitung hängt von den zu realisierenden Schutzfunktionen ab und wird durch nachfolgende Artikel dieser Serie untersetzt.

Literatur

[1] *Ando, T.*, u. a.: Present state and experience of digital protection in substations (Gegenwärtiger Stand und Erfahrung mit dem digitalen Schutz in Umspannwerken). CIGRE-Bericht (1986) Nr. 34-05

[2] *Kwong, W. S.*, u. a.: A microprocessor – based current differential relay for use with digital communication system its design and field experience (Ein mikroprozessorgestütztes Strom-Differentialrelais mit einem digitalen Kommunikationssystem – Entwurf und Praxiserfahrungen). CIGRE-Bericht (1986) Nr. 34-02 und Nr. 34-02 A

[3] *Spangenberg, P.*: Untersuchung der Zuverlässigkeit der Datenübertragung mit Lichtwellenleitern in Umspannwerken unter besonderer Berücksichtigung des Störungsverhaltens bei bündelhaften Störungen. IH Zittau, Sektion E, Diss. A, 1986

Rechnergestützter Entwurf und Implementierung von Automatisierungssoftware

W. Kunke; G. Meyer; R. Neumann; R. Wächter, KDT, Karl-Marx-Stadt

1. Einführung und Problemstellung

Die funktionellen Aufgaben der Basisautomatisierung sind im wesentlichen die Steuerung technologischer Abläufe und die Regelung relevanter physikalischer Größen sowie Systemüberwachung, Diagnose und Kommunikation (Bild 1). Die effektive Lösung der Automatisierungsaufgaben erfordert neben der Bereitstellung einer leistungsfähigen gerätetechnischen Basis sowohl die Entwicklung prozeßspezifischer Automatisierungssoftware als auch die Schaffung relativ universeller Rationalisierungshilfsmittel für den Entwurf der Steuer- und Regelalgorithmen und deren Implementierung und für die Projektierung der Hardware. Nachfolgend werden Softwarehilfsmittel für den rechnergestützten Entwurf von Automatisierungssoftware und deren Implementierung vorgestellt, die folgende Forderungen erfüllen sollen:

— leichte Handhabbarkeit, d.h. Verwendung problemorientierter Notationsformen, vorzugsweise auf der Grundlage grafischer Beschreibungsmittel, die vom Fachmann akzeptiert werden
— Transparenz
— Off-line-Erprobungsmöglichkeiten (Verifikation)
— Unterstützung der Inbetriebnahme (On-line-Test).

Abgesehen von der Berücksichtigung des erforderlichen Datenaustausches (eindeutig definierte Schnittstellen!) und der speziellen Hardware-Gegebenheiten können die steuerungstechnischen und die regelungstechnischen Komponenten der Automatisierungslösung relativ unabhängig voneinander entworfen werden. Voraussetzung ist eine entsprechend Bild 2 strukturierte Software, die von einer Quellnotation ausgeht. Compiler erzeugen daraus einen Code, der die Simulation (Verifikation) der entworfenen Strukturen ermöglicht. Bei der Simulation der Regler ist in den meisten Fällen die Simulation der geschlossenen Regelkreise erforderlich, um auch zeitliche, numerische und Begrenzungseffekte berücksichtigen zu können. In ähnlicher Form kann bei der Simulation der Steueralgorithmen durch die Einbeziehung eines Prozeßmodells die Rückkopplung über die Prozeßeingänge berücksichtigt werden.
An die Simulation schließt sich die eigentliche Implementierung mit einem Codegenerator an. Der Codegenerator erzeugt aus dem Simulationscode den Zielcode, d.h. ein in die Steuerung ladbares Programm. Erst in dieser letzten Stufe der Programmentwicklung gehen konkrete Eigenschaften der Steuerung (Betriebssystemge-

Dr.-Ing. *Werner Kunke* (42) ist Lektor an der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik.
Prof. Dr. sc. techn. *Gernot Meyer* (45) ist Lehrstuhlleiter „Technische Kybernetik/Steuerungstechnik" an der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik.
Dr.-Ing. *Ralf Neumann* (41) ist wissenschaftlicher Assistent an der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik.
Prof. Dr. sc. techn. *Roland Wächter* (55) ist Lehrstuhlleiter „Automatisierungstechnik" an der TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik.

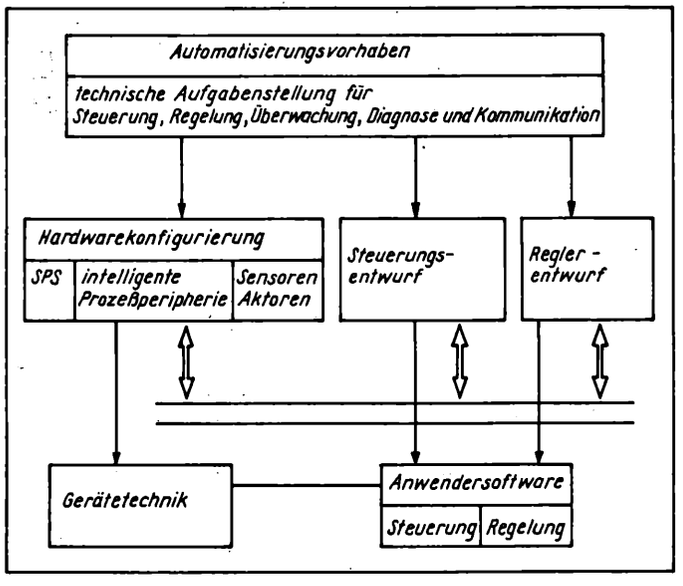


Bild 1. Entwurf von Automatisierungseinrichtungen

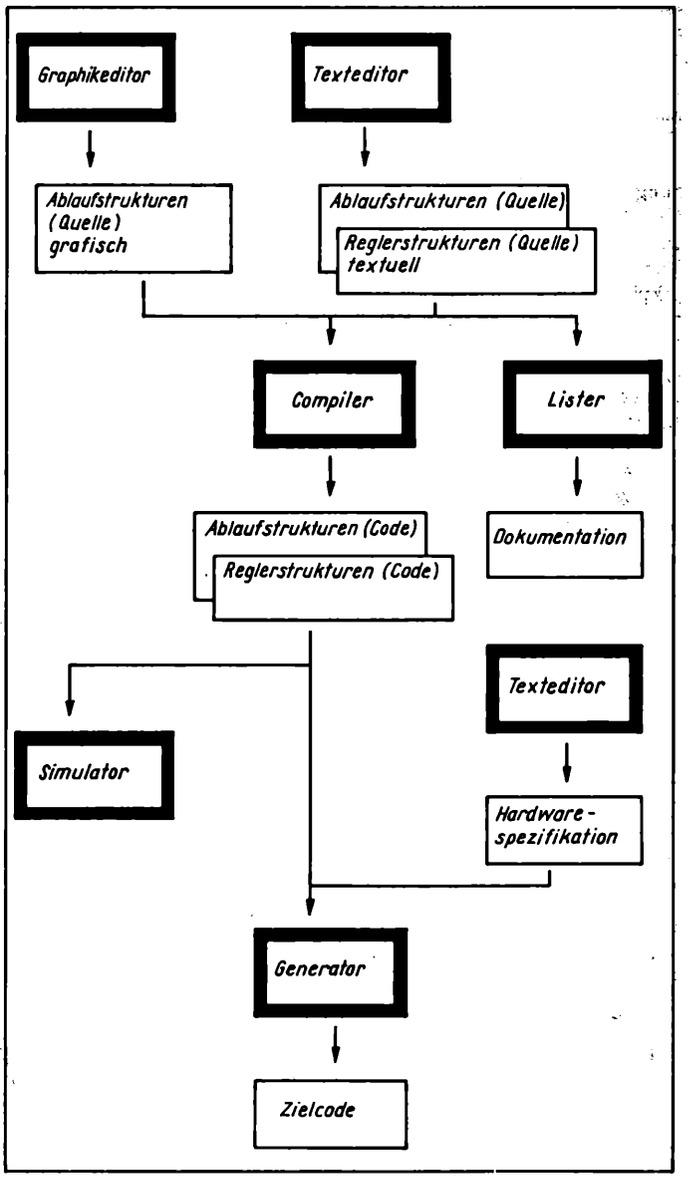


Bild 2. Komponenten der Entwicklungssoftware

[4] *Schlabbach, J.:* Distanzschutz mit Mikrorechnern. Auswahl und Test von Algorithmen. TH Darmstadt, Fachbereich Elektrische Energietechnik, Diss. A, 1982
[5] *Herrmann, H.-J.:* Ein Beitrag zu Schutzeinrichtungen auf der Basis von Mikrorechnern für den Kurzschlußschutz von Hochspannungsleitungen. IH Zittau, Sektion E, Diss. A, 1983
[6] *Mainka, M.*, u.a.: Design aspects of a fully microcomputer based feeder protection system for HV lines (Entwicklungsaspekte eines komplexen mikrorechnergestützten Abzweigschutzes für Hochspannungsleitungen). CIGRE-Bericht (1986) Nr. 34-12
[7] *Speh, R.:* Digitaler Netzschutz in Mittelspannungsnetzen. Aufbau und Erprobung eines Distanzschutzrelais. TH Darmstadt, Fachbereich Elektrische Energietechnik, Diss. A, 1985
[8] *Gruhn, G.:* Kenngrößen von Schutzstromwandlern und elektronischen Schutzgeräten für den Mittelspannungsnetzschutz. Wiss. Berichte IHZ 556 (1985), S. 88–91
[9] *Haberland, R.:* Aufbau eines Analog-Digitalwandlers nach dem Prinzip der Phasenmodulation mit gleichzeitiger Potentialtrennung. IH Zittau, Sektion E, DA 86/87 – D/E 3
[10] *Scheibe, S.:* Ein Beitrag zum Entwurf und zum Betrieb von digitalen Meßwerterfassungssystemen für die Betriebsmeßtechnik und die Schutztechnik in Hochspannungsschaltanlagen. IH Zittau, Sektion E, Diss. A, 1985
[11] *Metzsching, V.:* Inbetriebnahme eines 16-Kanal-Transientenrecorders. IH Zittau, Sektion E, DA 66/85 – D/E 3
[12] *Herrmann, H.-J.:* Digitaler Überstromzeit- und Distanzschutz (in Vorbereitung)

EA 6051

staltung, Prozessortyp usw.) in den Softwareentwurf ein. Daraus folgt eine hohe Flexibilität der vorgestellten Entwicklungssoftware. Die Anpassung für neue Zielsteuerungen beschränkt sich auf die Anpassung des Codegenerators.

2. Entwicklungssystem für Steueraufgaben

In der Steuerungstechnik sind prozessornahe Beschreibungsmittel (Anweisungsliste) und grafisch orientierte Darstellungsmittel wie Logikplan und Kontaktplan für Steuerprogramme üblich.
Die grafischen Beschreibungsmittel waren ursprünglich vor allem eine Konzession an die im Umgang mit Relais gewohnten Steuerungsentwickler. Mit fortschreitender Komplexität der Automatisierungsvorhaben, großer Steigerung der Leistungsfähigkeit der Steuerungshardware und zunehmender Softwareerfahrung der Steuerprogrammentwickler verliert dieser Aspekt ständig an Bedeutung.
Dessenungeachtet spielen grafische Beschreibungsmittel eine zunehmende Rolle als Verständigungsmittel zwischen den am Automatisierungsvorhaben beteiligten Mitarbeitern ohne spezifische Steuerungskenntnisse. In der üblichen Praxis erhält der Programmierer eine Aufgabenstellung in verbaler Form, die eventuell durch Tabellen, Automatengrafen, Pseudocode, Nashi-Shneidermann-Diagramme oder andere Mittel unterstützt wird. Diese Vorgabe setzt der Programmierer in eine nur ihm verständliche, sehr wenig problemtransparente Form wie Anweisungsliste oder ein Assemblerprogramm um. Viele Fehler entstehen bereits hier, weil entweder die Aufgabenstellung falsch war, infolge unklarer Formulierungen falsch verstanden wurde oder die Umsetzung nicht korrekt erfolgte. Ein formalisiertes, grafisches Beschreibungsmittel beseitigt die Verständigkeitsschwierigkeiten zwischen Programmierer und Auftraggeber. Außerdem dient es als Programmdokumentation und ist in dieser Form ein brauchbares Arbeitsmittel für das mit der Installation und Wartung der automatisierten Anlage betraute technische Personal. Die Verwendbarkeit der Programmiervorgabe als Dokumentation setzt allerdings voraus, daß sich während der Programmierarbeiten keine Änderungen mehr ergeben. In vielen Fällen läuft aber parallel zur Programmentwicklung die Projektierung bzw. der Bau des Steuerobjekts. Daraus resultieren oft operative Änderungen in der Programmiervorgabe, die nicht ordentlich in die Programmiervorgabe eingearbeitet werden.
Für komplexere Automatisierungsaufgaben sind Kontakt- und Logikplan nicht gut geeignet, da sie zu wenig problemtransparent sind. Für diesen Zweck ist die im IEC-Dokument 65A (Secretariat)-90-I vom Dezember 1988 vorgeschlagene grafische Programmiersprache „Sequential Function Chart", kurz SFC genannt [1] viel besser geeignet. Ähnliche Darstellungsmittel sind „GRAPH 5" (Siemens) und „GRAFCET" (Telemecanique).

2.1. Anforderungen an ein rechnergestütztes, grafisches Entwurfssystem

An ein solches Entwurfssystem werden folgende Mindestforderungen gestellt:

— Der Entwurf der grafischen Darstellungen erfolgt auf dem Bildschirm.
— Das Bildschirmformat darf keine zwingende Beschränkung für die grafischen Darstellungen sein.
— Das Ausdrucken der grafischen Darstellungen muß möglich sein, um jeden manuellen Zeichenaufwand einzusparen.
— Da es sich um eine formalisierte grafische Darstellung handelt, muß es den Nutzer zur Einhaltung der festgelegten Konventionen zwingen.
— Die Arbeit mit dem Entwurfssystem muß für Einsteiger einfach sein, ohne den geübten Anwender mit belastenden Hinweisen und Hilfsausschriften zu ermüden. Auch zeichnerisch unbegabte Anwender müssen damit umgehen können.
— Die Zerlegung des Programms in hierarchisch gegliederte Teilprogramme soll durch den Editor unterstützt werden, um einerseits Top-down-Entwurfsstrategien zu ermöglichen, andererseits die Größe der Zeichnungen nicht ins unermeßliche wachsen zu lassen.

Die so entstandenen Grafiken müssen von einem Compiler wie eine Quelldatei behandelt werden. Im Sinne der im Bild 2 gezeigten Grundstruktur erzeugt der Compiler nicht den Zielcode, sondern einen simulierbaren Zwischencode.
Eine erste Version eines solchen Entwurfssystems entstand unter dem Namen PEGASUS. Falls für die gewünschte Zielsteuerung ein Codegenerator existiert, wird die Implementierung des Entwurfs automatisch ausgeführt. Selbst wenn kein Codegenerator für die Zielsteuerung existiert, kann der Ausdruck des verifizierten Entwurfs einem SPS-Spezialisten zur Implementierung übergeben werden.

2.2. Programmsystem „PEGASUS"

PEGASUS ist ein Kunstwort, abgeleitet vom Programmsystem zum Entwurf mit grafischen Mitteln, zur Analyse, zur Simulation und zur Umsetzung von Steuerungssoftware.
PEGASUS-Steuerprogramme bestehen aus drei Teilen. Ein Teil ist die grafische Darstellung der Ablaufstruktur des Steuerprogramms in der genormten SFC-Darstellung mit Hilfe von Schritten und Transitionen. Im Programmsystem wird eine solche Ablaufstruktur als Steuernetz bezeichnet.
Außerdem ist ein spezieller Definitionsteil in Textform notwendig, in dem vor allem die verwendeten Variablen mit Attributen (Eingang, Ausgang, intern) und Datentypen vereinbart werden.
Der dritte Teil der PEGASUS-Programme umfaßt die sogenannten Aktionen und Weiterschaltbedingungen. Dafür wurde eine spezielle, einfach zu handhabende, textorientierte Sprache definiert. Diese Sprache entspricht entfernt dem IEC-Vorschlag für „strukturierten Text". In einer konzipierten zweiten Version des Programmsystems PEGASUS soll dieser Teil der Sprache dem IEC-Vorschlag besser entsprechen. Das Programmsystem besteht aus den Komponenten Editor, Compiler, Verbinder, Simulator, Codegenerator und Dateiservice. Der Aufruf der Komponenten und die Einstellung der Parameter erfolgt in einer hierarchischen Menütechnik. Für alle Bedienfunktionen können Hilfen mit hierarchisch gegliederten Unterhilfen aktiviert werden. Die Übersichtlichkeit

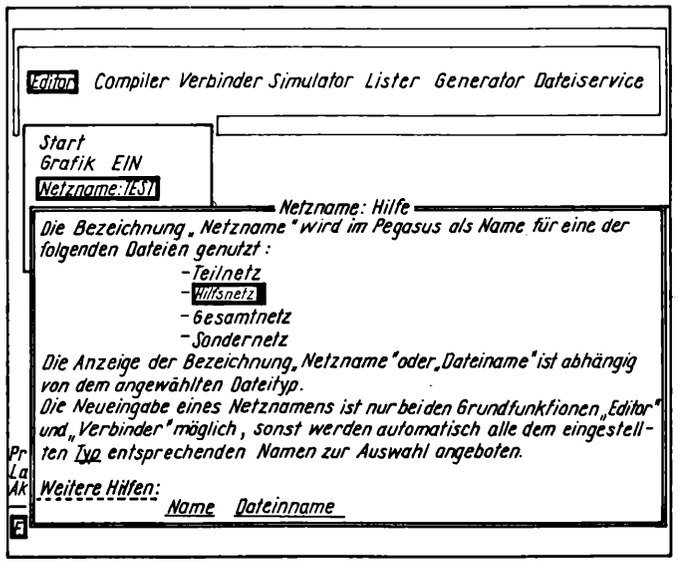


Bild 3. Hilfe zur Editor-Voreinstellung „Netzname"

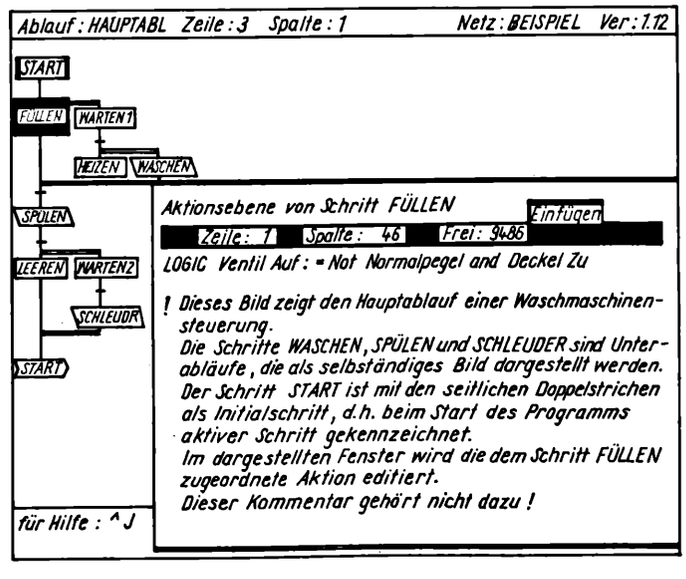


Bild 4. PEGASUS-Grafik-Editor, Funktion Verfeinern

des Schirmbildes wird, wie im Bild 3 gezeigt, durch Fenstertechnik gewährleistet.

Die Komponente Editor besteht aus zwei Editoren, dem eigentlichen Grafikeditor und einem wie „Wordstar" zu bedienenden Texteditor. Mit dem Texteditor können beliebige Textdateien, vor allem aber sogenannte Kommandodateien zur Steuerung des Verbinders und Musterdateien, die für die Erzeugung des Zielcodes notwendige Informationen (z. B. die Zuordnung der physischen E/A-Adressen zu den logischen Bezeichnern der Ein- und Ausgänge in PEGASUS) aufgestellt werden. Diese Dateien sind formale Beschreibungen im Sinne höherer Sprachen und werden beim Aufruf des Verbinders bzw. Codegenerators benötigt. Verbinder und Codegenerator können Syntaxfehler in diesen Dateien erkennen. Ist das der Fall, wird automatisch der Texteditor aufgerufen, der Kursor auf die Fehlerposition gesetzt und eine kurze Fehlermeldung angezeigt.

Der Compiler übersetzt die grafische Quelle in einen PEGASUS-internen Zwischencode. Werden vom Compiler Fehler festgestellt, wird automatisch in den Grafikeditor verzweigt. Dort wird der Kursor an die Fehlerposition gesetzt und eine Fehlerausschrift angezeigt. Wenn der Anwender systematisch arbeitet, verhindern in den Editor integrierte Syntaxanalysen von vornherein unangenehme Überraschungen beim Compilieren des Programms.

Es sei noch darauf hingewiesen, daß auch eine reine Sprachversion im Sinne einer höheren Programmiersprache für PEGASUS existiert, die mit dem Texteditor erzeugt werden kann. Der Compiler bearbeitet auch eine solche Text-Quelle und erzeugt einen äquivalenten Zwischencode.

Ein Steuernetz kann aus mehreren Teilnetzen bestehen. Ein solches Teilnetz kann einen unabhängigen Ablauf enthalten, aber auch einen Teilablauf, der von einem (oder mehreren) anderen Teilnetzen aufgerufen wird.

Der Netzverbinder vereinigt alle Teilnetze zum eigentlichen Steuernetz. Es ist aber auch möglich, spezielle Teilnetze (sogenannte Hilfsnetze) einzubinden, die nur zu Testzwecken verwendet werden. Besonders interessant ist die Möglichkeit, den zu steuernden Prozeß in einem Hilfsnetz zu beschreiben und mit dem eigentlichen Steuernetz zu verbinden. Der Simulator ermöglicht es in diesem Fall, das Zusammenwirken von Steuernetz und Prozeßmodell zu verfolgen.

Der Simulator bietet die Möglichkeit, die Dynamik des Steuernetzes oder einzelner Teilnetze unabhängig von Steuerung und zu steuerndem Prozeß zu untersuchen. Im Hauptmenü des Simulators werden folgende Funktionen angeboten:

VIEW	dient zur Anzeige. Es können Variablenbelegungen, Schrittzustände, die den Schritten zugeordneten Aktionen die schaltfähigen Transitionen, die den Transitionen zugeordneten Weiterschaltbedingungen und Informationen zur Struktur von Abläufen angezeigt werden.
CHANGE	ermöglicht das Ändern der Variablenbelegungen und das Aktivieren bzw. Deaktivieren von Schritten.
TRACE	dient dazu, den Umfang des Ablaufprotokolls einzuschränken oder zu erweitern. Außerdem können Unterbrechungsbedingungen gesetzt oder aufgehoben werden.
EXECUTE	startet den eigentlichen Simulationslauf.
FILE	ermöglicht, die gerade aktuelle Situation auf Datei auszugeben oder eine solche auf Datei gespeicherte Situation wieder herzustellen.
OPTION	dient zur Änderung optionaler Vorgaben.

Der Lister ermöglicht die Ausgabe der grafischen Darstellung der Programme mit einem Epson-compatiblen Nadeldrucker. Es ist möglich, die Ablaufstrukturen in kompakter Form auszudrucken und die den Schritten zugeordneten Aktionen bzw. die Weiterschaltbedingungen der Transitionen in getrennten Listen auszugeben. Man kann die Aktionen aber auch als im Schrittsymbol angeordneten Text und die Weiterschaltbedingungen als rechts von der Transition angeordneten Text drucken lassen. Falls eine auszudruckende grafische Darstellung nicht auf das Papierformat paßt, werden mehrere Blätter gedruckt, die nachträglich zusammengeklebt werden können. Maximal vier variabel zu gestaltende Fußzeilen ermöglichen es, die Dokumentation mit anwenderspezifischen Zusatzinformationen zu versehen.

Selbstverständlich kann der Lister auch zur Ausgabe reiner Textdateien verwendet werden.

Der Codegenerator wandelt den durch den Compiler bzw. Verbinder erzeugten Zwischencode in den eigentlichen Programmcode für die Zielsteuerung um. Der Codegenerator ist auswechselbar. Die Neuprogrammierung eines Codegenerators erfordert höchstens 10% des Programmieraufwandes, der im übrigen Programmsystem steckt. Zur Zeit sind zwei Codegeneratoren verfügbar. Diese Codegeneratoren erzeugen eine MPSS- bzw. eine STEP5-Quelldatei. Ein Codegenerator für PROLOG-S ist in Arbeit.

Der Dateiservice ermöglicht, einfache Operationen zur Datenträgerverwaltung bzw. Datenträgerpflege auszuführen.

Das Programmsystem PEGASUS benötigt einen IBM-XT-kompatiblen PC mit CGA-, Hercules- oder EGA-Grafik, 512 KByte Arbeitsspeicher und entweder zwei Diskettenlaufwerke mit 720 KByte Kapazität oder besser eine Festplatte. Zum Ausdrucken der grafischen Darstellungen ist ein Epson-kompatibler Nadeldrucker erforderlich.

Für die Anpassung an den jeweiligen Monitor (Farben, Helligkeitsstufen usw.) wird ein spezielles Installationsprogramm geliefert.

2.3. PEGASUS-Grafikeditor

Der Grafikeditor ist das Kernstück von PEGASUS. Im Grundmenü des Grafikeditors werden die Funktionen Setzen (Schritt, Konnektor, Transition), Löschen (Schritt, Konnektor, Transition, Zweigabschluß, Zeile, Spalte), Verzweigen (alternativ, parallel), Zweig abschließen, Einfügen (Zeile, Spalte) und Name zuordnen angeboten.

Diese Funktionen sind nicht immer alle nutzbar. Abhängig von der Position des Grafikkursors werden nur einige dieser Funktionen im Grundmenü angeboten. Der Grafikkursor kann mit den Kursor-

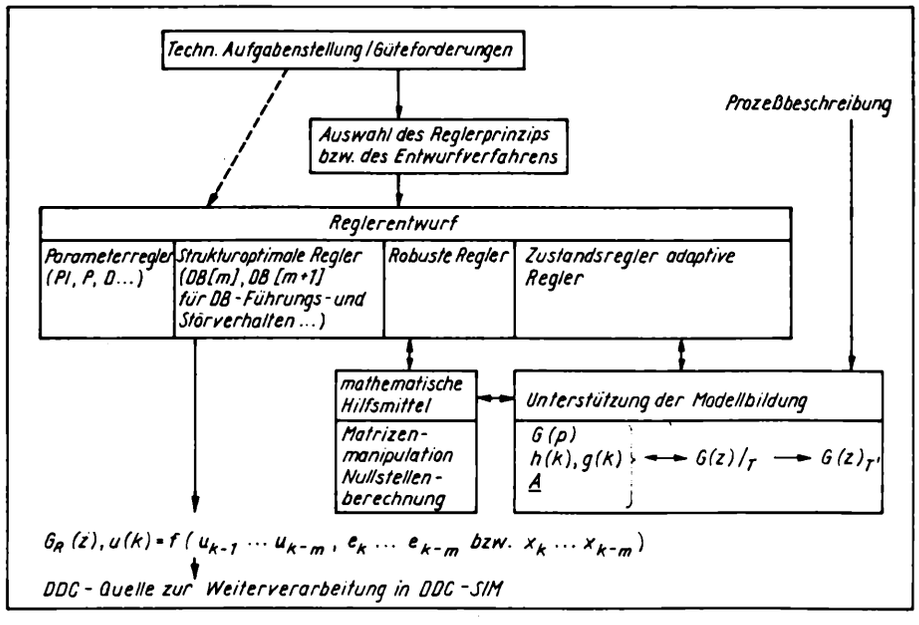


Bild 5. Struktur des Reglerentwurfssystems DDC-RE

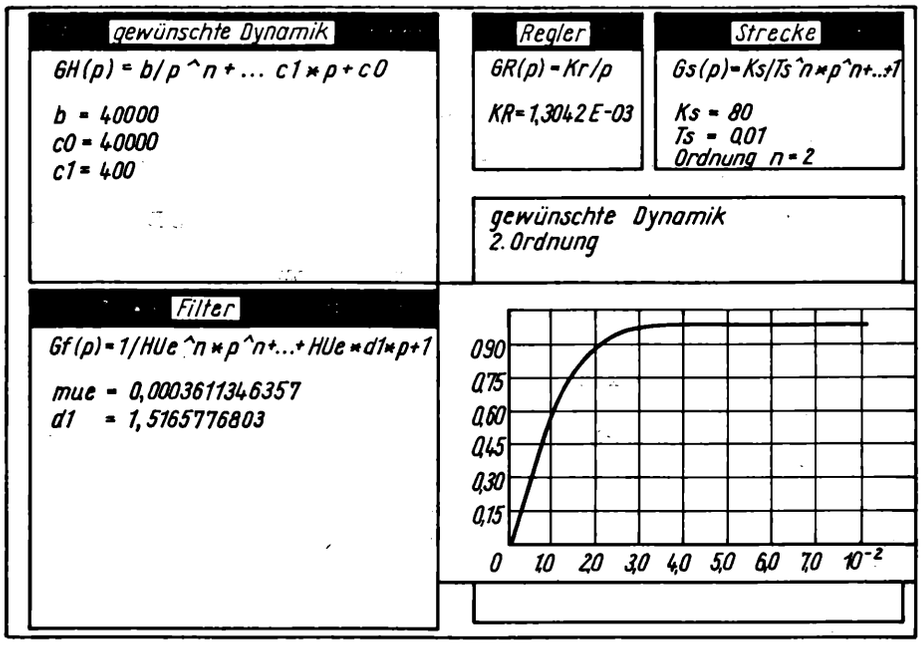
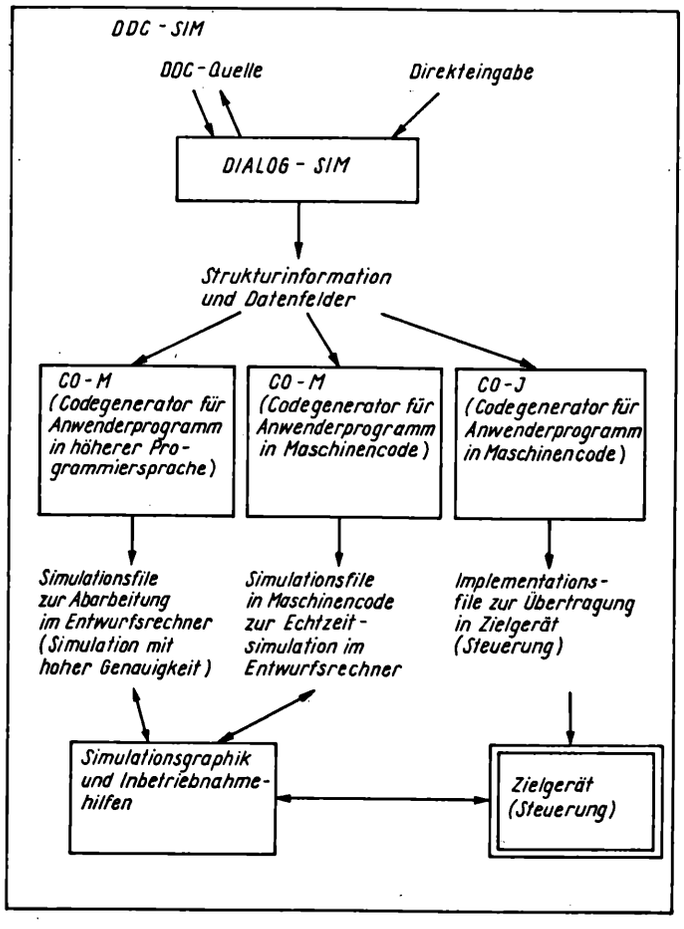


Bild 6. Arbeitsmöglichkeiten und Grundstruktur des Systems DDC-SIM

steuertasten frei bewegt werden. Mit diesen Grundfunktionen können SFC-Programmstrukturen sehr schnell auf dem Bildschirm gezeichnet und geändert werden. Die Auswahl der verfügbaren Funktionen erfolgt so, daß die auf dem Bildschirm befindlichen SFC-Strukturen immer zu einer laut SFC zulässigen Struktur ergänzt werden können. Es ist also nicht möglich, Strukturen zu zeichnen, die nur durch Löschen eines Teils der abgebildeten Struktur in eine gültige SFC-Struktur umgewandelt werden können.
Das Blockmenü ermöglicht es, größere Teilstrukturen zu löschen, an eine andere Position im Programm zu verschieben, in eine Teilstruktur auszulagern oder auf eine Datei zu kopieren. Außerdem können auf Datei ausgelagerte Teilstrukturen eingefügt werden. Es ist auch möglich, das Bild zu verdichten, d.h. alle Strukturelemente so dicht wie möglich zusammenzuschieben. Das Zusatzmenü ermöglicht es, einen integrierten Texteditor aufzurufen, die gerade editierte Struktur auf Vollständigkeit zu prüfen, eine andere Teilstruktur zu editieren, die editierte SFC-Struktur auf Datei auszugeben, den PEGASUS-Compiler aufzurufen und den Editor zu verlassen.
Der integrierte Texteditor ist notwendig, um den Schritten die Aktionen und den Transitionen die Weiterschaltbedingungen zuordnen zu können.
Außerdem müssen die verwendeten Namen für Eingänge, Ausgänge und Merker definiert werden. Außer einer Hilfe zur Editorbedienung steht hier auch eine Hilfe zur Syntax zur Verfügung. Beim Verlassen dieses Texteditors erfolgt automatisch eine Syntaxkontrolle für den gerade editierten Text. Eventuell gefundene Fehler werden angezeigt und eine Hilfe mit Hinweisen zur Beseitigung dieses Fehlers kann aktiviert werden. Bild 4 zeigt den Bildschirm bei aktiviertem Texteditor im Zusatzmenü. Im gezeigten Fall wird der Aktionsteil des Schrittes FUELLEN editiert.

Bild 7. Entwurfsprotokoll (Beispiel)



3. Entwurfs- und Implementierungssystem für digitale Regler

Für die effektive Anwendung von Ergebnissen der Regelungstheorie ist es erforderlich, den gesamten Ablauf von der Prozeßidentifikation bis zur Implementierung des speziellen Regelalgorithmus rechentechnisch zu unterstützen.
Folgende Bearbeitungsschritte sind für die Realisierung einer Prozeßregelung notwendig:

— Prozeßidentifikation mit dem Ziel, Prozeßdaten zu gewinnen, die als Grundlage für eine Modellbildung geeignet sind
— Modellbildung, d.h. Aufstellen eines für den Reglerentwurf geeigneten — in der Regel parametrischen — Prozeßmodells
— Reglerentwurf unter Berücksichtigung von Güteforderungen, d.h. Bestimmung des Regelalgorithmus einschließlich der Parameterwerte
— Simulation der Regler, Regelstrecken und Regelkreise zur Untersuchung des statischen und dynamischen Verhaltens
— Implementierung der Regelalgorithmen für die spezielle Zielgerätetechnik
— Inbetriebnahme der Prozeßregelung.

Diese Schritte des Entwurfsprozesses (im weiteren Sinne) sind in unterschiedlichem Maße an die Gerätetechnik, auf der die Algorithmen für die prozeßnahe Steuerung und Regelung implementiert werden sollen (Zielgerätetechnik), gebunden. Zweckmäßig ist es, wenn Aufgaben der Identifikation mit der Zielgerätetechnik realisiert werden. Die den Entwurfsprozeß unterstützenden Programmsysteme zur Modellbildung, zum Reglerentwurf, zur Implementierung und zur Simulation sollten auf verbreiteten PC bzw. den Anwendern verfügbaren Programmiergeräten laufen. Dabei sind Modellbildung und Reglerentwurf weitestgehend unabhängig von der Zielgerätetechnik, während die Implementierung naturgemäß und

die Simulation im Interesse möglichst praxisadäquater Ergebnisse abhängig von der Zielgerätetechnik sind.

3.1. Programmsystem zum Entwurf digitaler Regler

Bild 5 zeigt die Struktur des Systems zum Entwurf digitaler Regler (DDC-RE), das die Arbeit im Dialogbetrieb ermöglicht. Neben den Komponenten des eigentlichen Reglerentwurfs sind Hilfsmittel zur Unterstützung der Modellbildung erforderlich. Die meisten Verfahren zum Entwurf digitaler Regler setzen die Kenntnis der z-Übertragungsfunktion $G(z)$ der Regelstrecke voraus. DDC-RE ermöglicht deren Berechnung aus der kontinuierlichen Übertragungsfunktion $G(p)$ oder aus Stützwerten $h(k)$ bzw. $g(k)$ einer (eventuell auch experimentell ermittelten) Übergangsfunktion bzw. Gewichtsfunktion, oder aus der Systemmatrix A. Ebenso ist die Berechnung der z-Übertragungsfunktion für eine bestimmte Tastzeit aus der z-Übertragungsfunktion einer anderen Tastzeit möglich.

Reglerentwurfsprogrammodule greifen — wie die Software zur Modellbildung — auf mathematische Hilfsprogramme zu (Matrizenmanipulation, Pol- und Nullstellenberechnung,...). Ergebnis des Reglerentwurfs ist die z-Übertragungsfunktion $G_R(z)$ des Reglers bzw. die Steuergleichung $u(k)$, d.h. die nach dem momentanen Stellwert aufgelöste Differenzengleichung des Reglers (vgl. auch Abschn. 3.2.).

3.2. Programmsystem zur Simulation und Implementierung digitaler Regler

Ausgehend von den Erfahrungen mit DDC-DIALOG [2] erfüllt das Programmsystem zur Simulation und Implementierung digitaler Regler (DDC-SIM) folgende Anforderungen:

— Beibehaltung der mit DDC-DIALOG verwirklichten Idee, ein Programmsystem zur Simulation und Implementierung zu verwenden. Die Simulation wird dabei nicht in üblicher Weise (interne Schrittweitensteuerung, interne Sortierung der Abarbeitungsreihenfolge bei Integratoren, Abarbeitung ohne Eingriffsmöglichkeit mit anschließender Grafikausgabe usw.), sondern in Form eines Mehrebenenechtzeitprogramms realisiert. Der Vorteil besteht neben der für den Regelungstechniker sehr anschaulichen Arbeitsweise in der ständigen Eingriffsmöglichkeit, in der einheitlichen Bedienung des Echtzeitprogramms in der Simulation und am Prozeß sowie in der daraus resultierenden vergleichsweise geringen Fehlerwahrscheinlichkeit beim Übergang von der Simulation zur Implementierung. Die geringe Fehlerwahrscheinlichkeit bezieht sich dabei sowohl auf Programmierfehler als auch auf algorithmische Fehler.

— Beibehaltung der grundsätzlichen Struktur, nach der auch DDC-DIALOG aufgebaut ist, d.h. konsequente Trennung von Dialog-/Compilerteil, Listen-/Tabellenteil und austauschbaren Codegeneratoren. Damit werden sowohl die Implementierung von Reglerstrukturen auf verschiedenen Prozessortypen als auch die Simulation mit variabler numerischer Genauigkeit ermöglicht. Die Bedeutung der Simulation des Reglers im später am Prozeß verwendeten Zahlenformat ergibt sich aus den daraus resultierenden Vorteil, daß Quantisierungs- und Begrenzungseffekte vor Inbetriebnahme erkannt werden. Davon ausgehend, ermöglicht DDC-SIM sowohl eine Simulation im Zahlenformat einer höheren Programmiersprache als auch die Erzeugung von Anwenderprogrammen zur Echtzeitabarbeitung. Die Anwenderprogramme können dann im Sinne einer Simulation im Zielzahlenformat als Echtzeitprogramm im erzeugenden Rechner als auch als portables Programm nach Übertragung in eine Steuerung abgearbeitet werden.

— Dialogorientierte und Compilerarbeitsweise bei der Erfassung einer zu simulierenden oder zu implementierenden Reglerstruktur. Dabei dient die Dialogarbeitsweise hauptsächlich der Erhöhung der Transparenz und der Erleichterung des Einstiegs für den Nutzer. Mit dem gleichen Ziel ist die Nutzung von HELP-Dateien und verschiedener Arten von Protokollausgaben möglich. Neben der freien Erarbeitung einer DDC-Quelle — z.B. mit einem Texteditor — ist zusätzlich die dialogorientierte Erzeugung einer Quelldatei möglich.

— Nutzerfreundliche Schnittstelle von DDC-SIM zum vorgelagerten Reglerentwurfssystem DDC-RE. Ein Hilfsmittel dazu ist die oben genannte dialogorientierte Quellcodegenerierung durch DDC-RE, d.h., Ergebnis des Reglerentwurfs ist nicht nur der Regelalgorithmus (Reglergleichung als Übertragungsfunktion bzw. Differenzengleichung oder eine aufgelöste Struktur aus einzelnen Übertragungsgliedern) mit entsprechenden Parameterwerten, sondern auch ein DDC-Quellprogramm. Es kann dann sofort zu Simulation bzw. im weiteren zur Implementierung genutzt werden.

— Als Simulationsgrafik eignen sich neben der Ausgabe von Zeitfunktionen (vgl. Bild 6) auch die Ausgabe von Zeitverläufen in Tabellenform, die Manipulation (Verschiebung, Maßstabsänderung usw.) von Zeitverläufen und die Anzeige von Momentanwerten der Echtzeitsimulation. Die Simulationsgrafik wird sowohl für die Kommunikation mit dem Simulationsteil in der höheren Programmiersprache als auch mit dem Echtzeitsimulationsprogramm im Entwurfsrechner verwendet. Falls es die Zielgerätetechnik, besonders aber die zur Verfügung stehende Programmentwicklungstechnik zuläßt, sollte auch zur Inbetriebnahme die Simulationsgrafik in Verbindung mit einer Datenübertragung genutzt werden. Bild 7 faßt die erläuterten Arbeitsmöglichkeiten zusammen.

Literatur

[1] *Kunke, W.; Zeidler, S.:* Programmierung von Ablaufsteuerungen. Mikroprozessortechnik 1 (1987) 4, S. 115–117

[2] *Neumann, R.:* Programmierhandbuch DDC-DIALOG. TU Karl-Marx-Stadt, Sektion Automatisierungstechnik, März 1989

EA 6060

Von der einfachen Logikschaltung zum Mikrorechner

Von *J. Matschke*. Berlin: VEB Verlag Technik 1989, 4. durchgesehene Auflage, 232 Seiten, 216 Bilder, 86 Tafeln, Leinen 20,— M. Bestell-Nr. 554 017 4

Mikroprozessoren und Mikrorechner bieten ständig neue Möglichkeiten in der funktionellen Gestaltung elektronischer Geräte und bei der automatischen Steuerung technischer Prozesse.

Techniker aller Fachrichtungen, die sich bisher noch nicht mit den Problemen der digitalen Rechentechnik oder gar mit denen der Mikrorechentechnik befaßt haben, erkennen jetzt, daß zur effektiven Nutzung dieser neuen Technik in allen Bereichen der Volkswirtschaft, neben fundierten Kenntnissen über den zu steuernden Prozeß, auch Einblicke in die Funktionsweise mikroelektronischer Bauelemente gehören.

Besonders die heranwachsende junge Generation, die in den kommenden Jahren die neue Technik zu meistern hat, muß in verstärktem Maße an diese Thematik herangeführt werden.

Das Buch soll all denen helfen, die sich möglichst schnell in die Grundlagen der digitalen Mikroelektronik, insbesondere die der Mikrorechner, einarbeiten wollen. Um dabei einen relativ breiten Leserkreis erfassen zu können, werden nur geringe Kenntnisse in Mathematik und Elektrotechnik vorausgesetzt. Die Wirkungsprinzipien neuer Mikroprozessorgenerationen und neuer Speicherbausteine werden beschrieben.

Solarenergietechnik vor dem Durchbruch?

Wie Wissenschaftler errechnet haben, ließe sich mit der im Jahr auf die Erde eingestrahlten Sonnenenergie der Bedarf der gesamten Weltbevölkerung mehr als 15000mal decken. Deshalb laufen Untersuchungen, wie dieses Energiereservoir effektiv in Form von elektrischem Strom erschlossen werden kann.

Die bislang größte Sonnenenergieanlage mit einer installierten Leistung von rund 200 MW, in der Nähe von Los Angeles (Kalifornien), arbeitet nach dem Prinzip der Solarthermik, das sich neben der Photovoltaik als technisch gangbarer Weg zur wirtschaftlichen Nutzung der Sonnenenergie herauskristallisierte. Weltweit wird daran gearbeitet, diese Techniken zur Gewinnung von Sonnenstrom so weiter zu vervollkommnen, daß die für die Umwelt unproblematische und sich selbst regenerierende Energieform im Vergleich mit den fossilen Brennstoffen bestehen kann. In Europa kam die Solartechnik über Versuchsanlagen bisher nicht hinaus. In der Photovoltaik bewegen sich zudem die Anlagen noch im kW-Bereich, während für Energietechniker erst Leistungen in drei- oder vierstelligen MW-Zahlen diskutabel werden. Dennoch hat die Photovoltaik in Mitteleuropa einige Chancen, da sie auch bei diffusen Licht funktioniert. Sie ist jedoch durch die hohen Kosten derzeit wirtschaftlich unvertretbar. (ADN/EL)

Probabilistische Modelle für die Auslegung und Optimierung von Elektroenergieanlagen[1)]

J. Hoffmann, KDT, Wismar; N. A. Denisenko, NTO, Kiew; P. A. Tschernenko, NTO, Kiew; UdSSR

1. Vorbemerkungen

Für die Auslegung und Optimierung von Elektroenergieanlagen (EEA) werden zur Abbildung ihres physikalisch-technischen und ökonomischen Verhaltens deterministische, stochastische und strategische Modelle angewendet. Deterministische Modelle sind am einfachsten und bequemsten zu handhaben. Deshalb haben sie bis heute auch die größte Verbreitung in der Ingenieurpraxis. Allerdings werden für die in Frage kommenden Variablen und Kenngrößen bei diesen Modellen häufig deren Maximalwerte (z. B. Betriebsbelastungen, Kurzschlußbeanspruchungen) zugrunde gelegt, woraus nicht selten Reduzierungen möglicher volkswirtschaftlicher Effekte oder pseudooptimale Lösungen resultieren.
Strategische Modelle, die für EEA seit Ende der 60er Jahre ausgearbeitet und angewendet werden, sind eine Reaktion auf fehlende, unvollständige oder ungenaue Informationen.
Probabilistische Modelle lassen sich hinreichend verallgemeinert und abbildscharf aufbauen. Sie ermöglichen die Abbildung des Zufallsverhaltens der in EEA ablaufenden Prozesse und auftretenden Ereignisse, spiegeln statistische Zusammenhänge zwischen EEA-relevanten Größen, Funktionen und Ereignissen wider und ordnen Aussagen Wahrscheinlichkeiten als Unbestimmtheitsmaße zu. Schon in den 50er Jahren begann die Ausarbeitung derartiger Modelle. Trotzdem fanden sie bis heute nur begrenzte Anwendung in der Ingenieurpraxis, insbesondere bei der Auslegung und Optimierung von EEA: Es ist schwierig, oft aufwendig, manchmal sogar unmöglich, statistische Charakteristika für relevante EEA-Kenngrößen zu erhalten. Vielfach sind die mathematischen Formulierungen probabilistischer Modelle kompliziert und für meist praktisch orientierte Ingenieurkader in Projektierung und Betrieb schwer durchschaubar. Der zunehmende Einsatz von CAD-Arbeitsplätzen und moderner Prozeßleitsysteme mit spezieller Software für EEA schafft jedoch reale Voraussetzungen für die künftige Überwindung dieser Schwierigkeiten und damit auch für eine breitere Anwendung probabilistischer Modelle in der Ingenieurspraxis.

2. Prinzip probabilistischer Modelle

Probabilistische Modelle können sowohl mit hoher Abbildschärfe als auch vereinfacht aufgebaut sein. Letztere kommen vorwiegend für die ingenieurpraktische Anwendung in Frage. Bei ihrer Ausarbeitung und manchmal auch bei ihrer Anwendung müssen jedoch die damit gewonnenen Ergebnisse mit denen adäquater Modelle verglichen und gegebenenfalls die vereinfachten Modelle korrigiert und angepaßt werden, damit die Ergebnisabweichungen möglichst klein bleiben. Daraus folgt als wichtiges Arbeitsprinzip die unabdingbare Notwendigkeit, nicht nur vereinfachte, sondern ebenso abbildscharfe probabilistische Modelle auszuarbeiten.
Prinzipiell bestehen probabilistische Modelle aus 2 Komponenten: Zum einen werden relevante EEA-Variable (Belastungen, Beanspruchungen, Festigkeiten/Stehvermögen u. a.) als ein- oder korrelierte mehrdimensionale Zufallsgrößen oder -funktionen, letztere auto- und kreuzkorreliert, aufgefaßt und durch ihre Verteilungsfunktionen und -parameter beschrieben. Zum anderen wird die Wahrscheinlichkeit dafür, daß erwünschte Ereignisse (eE) auftreten, maximiert bzw. die Wahrscheinlichkeit für unerwünschte (uE) minimiert oder auf ein zulässiges Limit α_{zul} beschränkt:

$$P(eE) = \text{Max}; \quad P(uE) \begin{cases} = \text{Min} \\ \leqq \alpha_{zul} \end{cases}. \tag{1}$$

Dabei können eE die Einhaltung, uE die Verletzung einzelner oder auch mehrerer technisch-ökonomischer Kriterien bedeuten.

3. Zufallscharakter technischer und ökonomischer Kenngrößen von Elektroenergieanlagen

Komplexe Betriebsbelastungen lassen sich hinreichend abbildscharf durch mehrdimensionale auto- und kreuzkorrelierte Zufallsfunktionen der Zeit beschreiben, deren Komponenten und Beträge praktisch normalverteilt (genauer abgeschnitten normalverteilt) sind. Ihre Verteilungsfunktionen und -parameter sind etwa zeitkonstant innerhalb von Stationaritäts-(Zeit-)Intervallen, die von der Art und Betriebsweise der Abnehmer abhängen. Die Autokorrelationsfunktionen von Beträgen und Komponenten der Betriebsbelastungen können innerhalb jedes Stationaritätsintervalls durch eine unifizierte Formel beschrieben werden:

$$\varrho(\tau) = \alpha \exp(-\beta|\tau|) \cos \gamma\tau + \delta \exp(-\varepsilon|\tau|) + \mu. \tag{2}$$

Dabei sind $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \mu$ Konstanten, $\tau = t_2 - t_1$.

Die symmetrischen Komponenten unsymmetrischer Betriebsbelastungen haben analoge Eigenschaften.
Die Handhabung dieses grobskizzierten adäquaten Modells elektrischer Betriebsbelastungen erfordert einen großen Umfang an Eingabeinformationen, komplizierte Algorithmen und Programme sowie leistungsfähige Rechentechnik. Für die Ingenieurpraxis wurden daher Vereinfachungen ausgearbeitet, nach denen Betriebsbelastungen durch vor allem normalverteilte Zufallsgrößen beschrieben werden, deren Verteilungsparameter durch Äquivalentierung entsprechender Verteilungsparameter der adäquaten Belastungsmodelle ermittelt werden [1] [2] [3] [12].
Auf dieser Grundlage wurden Modelle, Algorithmen und Programme für die stochastische Lastflußberechnung abgeleitet, die es ermöglichen, aus den statistischen Charakteristika der Abnehmerbelastungen, und, falls erforderlich, unter Berücksichtigung des Zufallsverhaltens von Schaltzuständen und Ersatzimpedanzen (z. B. bei der Netzplanung und Anlagenprojektierung) die statistischen Charakteristika von Zweigbelastungen, Knotenspannungen und daraus abgeleiteten Größen analytisch oder durch Monte-Carlo-Simulation (MCS) zu bestimmen [4] [5] [6].
Die Momentanwerte von Kurzschlußströmen lassen sich als Zufallsfunktionen der Zeit beschreiben, während charakteristische Kurzschlußgrößen, wie Stoßkurzschlußstrom, Ausschaltstrom, thermisch wirksamer Mittelwert und Dauerkurzschlußstrom durch Zufallsgrößen abgebildet werden. Unter Berücksichtigung des Zufallsverhaltens relevanter Einflußvariablen, z. B. Eintrittszeitpunkt, Kurzschlußort, Kurzschlußart (Eintrittsmechanismus), Netzschaltzustand, Abnehmerkonfiguration, treibende Spannungen, Kurzschlußdauer und Ersatzimpedanzen wurden durch MCS und analytisch umfangreiche statistische Charakteristika von Kurzschlußströmen ermittelt und das Zufallsverhalten von Kurzschlußvorgängen untersucht. Dabei zeigte sich, daß das Zufallsverhalten von treibenden Spannungen und der Kurzschlußdauer in den für EEA relevanten Parameterbereichen praktisch keinen Einfluß auf die Kurzschlußstromverteilungen hat. Dadurch lassen sich wesentliche Vereinfachungen für die stochastische Kurzschlußberechnung in Anspruch nehmen. Für die ingenieurpraktische Anwendung bieten sich insbesondere ermittelte Abhängigkeiten der Kurzschlußstromquantile von zusätzlichen Netzparametern an [7] [8].
Darüber hinaus haben viele weitere, auch nichtelektrische Beanspruchungen, z. B. meteorologische Größen, Leiter- und Wicklungstemperaturen, Isolationsalterung, mechanische Kräfte u. a., Zufallscharakter. Für ihre statistischen Charakteristika liegen umfangreiche, zum Teil sehr zuverlässige Informationen vor [9] bis [12].
Im Gegensatz zu den Beanspruchungen ist der Zufallscharakter der Festigkeiten bzw. Stehvermögen einzelner elektrotechnischer Betriebsmittel und kompletter EEA aus Aufwandsgründen mit Ausnahme der elektrischen Festigkeit noch unzureichend untersucht und weitgehend unbekannt. Im Bild 1 sind experimentell ermittelte Verteilungen des Abschaltvermögens von Leistungschaltern (1), Luftschützen (2) und der Umbruchfestigkeit von Porzellanstützern (3) angegeben. Wegen des Informationsmangels über die statistischen Charakteristika der Festigkeiten werden dafür die von den Herstellerwerken bzw. die in Standards oder anderen Vorschriften festgelegten zulässigen Werte verwendet.

Prof. Dr. sc. techn. *Johannes Hoffmann*, Lehrstuhl Elektroenergieanlagen, ist Leiter des Wissenschaftsbereiches Elektrotechnik, Sektion Elektrotechnik/Elektronik an der TH Wismar. Kand. d. techn. Wiss. *Nikolai A. Denisenko* ist Dozent am Lehrstuhl Elektroenergieversorgung der Fakultät GEMA der TU Kiew (UdSSR). Kand. d. techn. Wiss. *Pawel A. Tschernenko* ist Leiter der Abteilung Zustandsanalyse von Elektroenergiesystemen am Institut für Elektrodynamik der AdW der UdSSR, Kiew (UdSSR).

[1)] Der Artikel enthält Ergebnisse gemeinsamer Arbeiten der Autoren im Rahmen des Arbeitsprogrammes der Problemkommission „Physikalisch-technische Probleme der Energetik" zur mehrseitigen Zusammenarbeit der Akademie der Wissenschaften sozialistischer Länder.

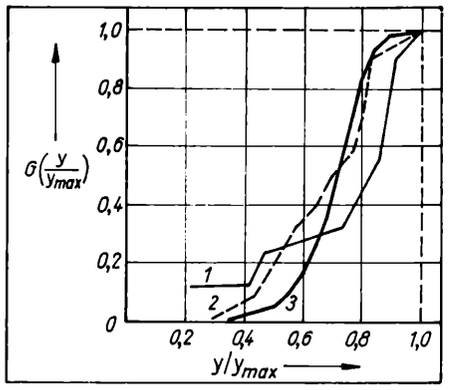


Bild 1. Verteilungsfunktionen $G\,(y/y_{max})$ der normierten Festigkeiten y/y_{max} einiger elektrotechnischer Betriebsmittel (Mittelspannung)
1 Leistungsschalter
2 Luftschütze
3 Porzellanstützer

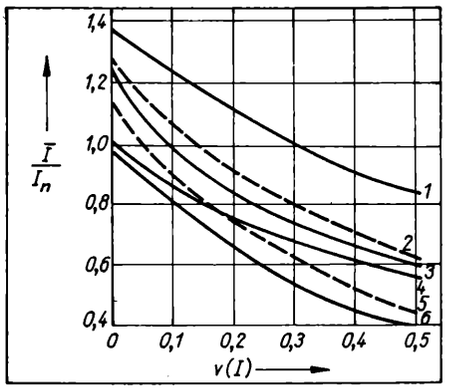


Bild 2. Zulässige Mittelwerte $\bar{I}$ und Variationskoeffizienten $v\,(I)$ des Betriebsstromes I von Freileitungsseilen Al/St 185/32 mm² für reale meteorologische Bedingungen (zentraler Teil der DDR, Kiewer Gebiet der UdSSR) nach der Seiltemperatur bei verschiedenen thermischen und Belastungsmodellen

Ökonomische Kenngrößen, wie Verluste, Kosten, Aufwandskenngrößen, Übertragungswirkungsgrade, Rückflußdauern u.a. unterliegen zufälligen Änderungen. Ihre statistischen Charakteristika lassen sich durch MCS und analytisch berechnen. Die Verteilungen von Verlusten und Aufwandskenngrößen können mit guter Näherung durch angepaßte dreiparametrige Weibullverteilungen dargestellt werden [12] [13].

4. Auslegung von Elektroenergieanlagen nach technischen Kriterien

Grundlage des Modells ist die Minimierung der Wahrscheinlichkeit für das *uE* „Beanspruchung $X >$ Festigkeit/Stehvermögen Y“:

$$\alpha = P\,(X > Y) = \text{Min, bzw.} \tag{2}$$

$$P\,(X > Y) \leqq \alpha_{zul}. \tag{3}$$

Das bekannte deterministische Modell ist der Sonderfall $\alpha = 0$. Eine Modifizierung besteht in der Minimierung der Wahrscheinlichkeit β dafür, daß die kriterielle Größe X kleiner als ein Nennwert X_n wird (z.B. thermische Lebensdauer einer Isolieranordnung):

$$\beta = P\,(X < X_n). \tag{4}$$

Bei der Auslegung von EEA nach thermischen Kriterien kann die Limitierung $\alpha \leqq 0{,}05$ gelten. Das ist durch umfangreiche MCS thermisch bedingter Ausfälle nachgewiesen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit β dafür, daß die thermische Lebensdauer vorgegebene Nennwerte unterschreitet, praktisch Null [9] bis [12].
Wenn die Verteilung der Beanspruchung, z.B. der Betriebsbelastung I, durch zwei Verteilungsparameter bestimmt und die Festigkeit durch einen Festwert Y_0 vorgegeben ist, können für zulässige $\alpha = \alpha_{zul}$ aus

$$P\,(X > Y_0) = \alpha_{zul} \tag{5}$$

für die Verteilungsparameter solche Wertepaare ermittelt werden, bei denen das jeweilige technische Kriterium höchstens mit Wahrscheinlichkeit α verletzt wird.
Im Bild 2 sind für Freileitungsseile 185/32 mm² Al/St die zulässigen, auf ihren Nennwert normierten, Mittelwerte des Belastungsstromes in Abhängigkeit ihrer Variationskoeffizienten aufgetragen:

Kurve *1* $\alpha = 0{,}05$ } abbildscharfes thermisches Modell, Belastung
Kurve *2* $\alpha = 0{,}00$ } als Zufallsfunktion der Zeit
Kurve *3* $\alpha = 0{,}05$ } abbildscharfes thermisches Modell, Belastung
Kurve *5* $\alpha = 0{,}00$ } als Zufallsgröße, MCS
Kurve *4* $\alpha = 0{,}05$ } vereinfachtes thermisches Modell, Belastung
Kurve *6* $\alpha = 0{,}00$ } als Zufallsgröße

Zulässige Werte für die gleichen Verteilungsparameter der Betriebsbelastung sind im Bild 3 für ein 1-kV-Plastkabel unter Berücksichtigung realer meteorologischer Bedingungen angegeben:

Kurve *1* $\alpha = 0{,}05$ abbildscharfes thermisches Modell, Belastung als Zufallsfunktion der Zeit, MCS,
Kurve *2* $\alpha = 0{,}05$ vereinfachtes thermisches Modell, Belastung als Zufallsfunktion der Zeit, MCS,
Kurve *3* $\alpha = 0{,}05$ } vereinfachtes thermisches Modell, Belastung
Kurve *4* $\alpha = 0{,}00$ } als Zufallsgröße.

Aus den Bildern 2 und 3 wird eine allgemeine Tendenz deutlich: Je abbildschärfer die thermischen und probabilistischen Belastungsmodelle sind, um so größer sind die thermischen Belastbarkeitsreserven, die den herkömmlichen Verfahren innewohnen. Analoge Gesetzmäßigkeiten bestehen für andere technische Kriterien.

5. Auslegung von Elektroenergieanlagen nach ökonomischen Kriterien

Die Minimierung zufällig variabler ökonomischer Kenngrößen, wie Verluste oder Aufwandskenngrößen, erfolgt so, daß z.B. aus n zur Auswahl stehenden Varianten als ökonomisch optimale diejenige Variante Nr. j ausgewählt wird, deren Aufwandskenngröße AW_j mit maximaler Wahrscheinlichkeit kleiner ist als die Aufwandskenngrößen der übrigen $n - 1$ Varianten. Dazu wird für jede Variante i mit $i \in [1, n]$ und

$$AW_{i\,min} \leqq AW_i \leqq AW_{i\,max} \tag{6}$$

die Wahrscheinlichkeit P_i dafür berechnet, daß ihre Aufwandskenngröße AW_i kleiner ist als die Aufwandskenngrößen der übrigen Varianten:

$$P_i = P\left(AW_i = \min_{\nu=1}^{n} AW_\nu\right). \tag{7}$$

Als ökonomisch optimale Variante Nr. j wird diejenige ausgewählt, für deren Wahrscheinlichkeit gilt

$$P_j = \max_{i=1}^{n} P_i. \tag{8}$$

Wenn die statistischen Charakteristika der Aufwandsgrößen der n zur Auswahl stehenden Verfahren unbestimmt sind, werden für die resultierende Aufwandskenngröße jeder Variante Nr. i mehrere, z.B. m_i Verteilungsfunktionen G_{ij} (AW) mit den zugehörigen Auftrittswahrscheinlichkeiten p_{ij} vorkommen können, wobei $j \in$

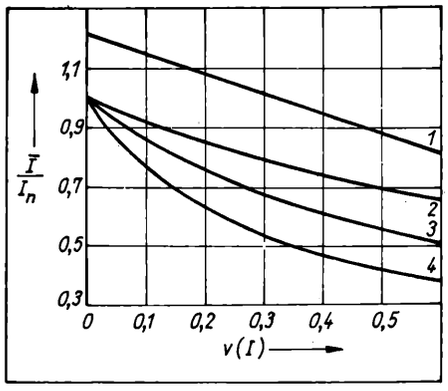


Bild 3. Zulässige Mittelwerte $\bar{I}$ und Variationskoeffizienten $v\,(I)$ des Betriebsstromes I für 1-kV-Plastkabel 4×185 mm² (Einzellegung in Erde) nach der Leitertemperatur bei verschiedenen thermischen und Belastungsmodellen

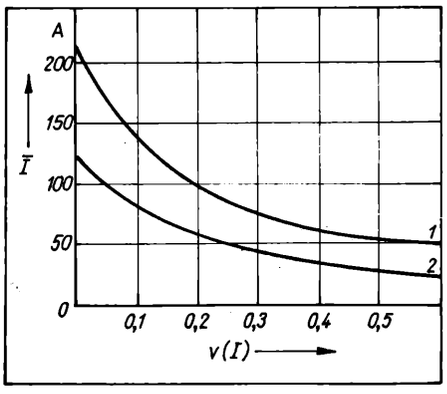


Bild 4. Mehrkriteriell (Leitertemperatur bei Betriebsbelastung, thermische Alterung, Spannungsabfall, thermisch wirksamer Mittelwert des Kurzschlußstromes, minimierte Aufwandskenngröße) optimierte Belastbarkeitskurven von 20-kV-Kabeln
1 NAHKY 3×185 mm²
2 NAHKBA 3×70 mm²

[1, m_i] gilt. Anstelle einer einzigen n-dimensionalen Verteilung der n-dimensionalen Zufallsvariablen ($AW_1 \cdots AW_n$) existieren jetzt

$$a = \prod_{i=1}^{n} m_i \tag{9}$$

derartiger Verteilungsfunktionen, die durch Kombination ohne Wiederholung der entsprechenden Verteilungen $G_j(AW)$ gefunden werden und in denen die Verteilungsfunktion der Aufwandskenngröße je einer Variante vorkommt:

$$G_k(AW_1, \ldots, AW_n) = \prod_{\substack{i=1 \\ j \in [1, m_i]}}^{n} G_{ij}(AW) \tag{10}$$

$k \in [1, a]$.

Die Wahrscheinlichkeit q_k für das Auftreten der n-dimensionalen Verteilung G_k ergibt sich durch

$$q_k = \prod_{\substack{i=1 \\ j \in [1, m_i]}}^{n} P_{ij}. \tag{11}$$

Nunmehr können für jede k-te derartige n-dimensionale Verteilung G_k die Wahrscheinlichkeiten P_{ik} dafür berechnet werden, daß bei Vorliegen der n-dimensionalen Verteilung G_k die Aufwandskenngröße der i-ten Variante kleiner ist als die Aufwandskenngrößen der übrigen n — 1 Varianten

$$P_{ik} = \int_{AW_{min}}^{AW_{max}} \prod_{\substack{\nu=1 \\ \nu \neq i}}^{n} (1 - G_{\nu j})\, dG_{i\mu}. \tag{12}$$

$j, \mu \in [1, m_i]$, $j \neq \mu$.

Jetzt kann für jede Variante i die Wahrscheinlichkeit Q_i dafür berechnet werden, daß bei Vorliegen der Kombination $k = 1$ die Aufwandskenngrößen der i-ten Variante kleiner ist als die Aufwandskenngrößen der übrigen Varianten oder bei Vorliegen der Kombination $k = 2$ die Aufwandskenngröße der Variante i minimal ist oder bei Vorliegen der Kombination $k = a$ die Aufwandskenngröße der Variante i minimal ist:

$$Q_i = \sum_{k=1}^{a} q_k P_{ik}. \tag{13}$$

Als ökonomisch optimale Variante j wird dabei diejenige ausgewählt, deren Wahrscheinlichkeit Q_i ein Maximum erreicht:

$$Q_j = \max_{i=1}^{n} Q_i. \tag{14}$$

6. Mehrkriterielle Optimierung der Elektroenergieanlagen

Der Entwurf eines probabilistischen mehrkriteriellen Optimierungsmodells erscheint erforderlich, weil die Auslegung von EEA ebenso wie die Auswahl von Betriebsregimes von Elektroenergiesystemen nach einer Vielzahl von technischen und ökonomischen Kriterien unter Beachtung bestimmter Restriktionen vorgenommen werden muß. Die Einhaltung bzw. Verletzung jedes im gegebenen Fall zu berücksichtigenden Kriteriums wird als Zufallsereignis interpretiert. Als optimal gilt dann diejenige unter den zur Auswahl stehenden Varianten, bei der die Wahrscheinlichkeit dafür maximal ist, daß alle jeweils zu beachtenden Kriterien erfüllt sind. Dabei können für einige in Rede stehende, vor allem technische Kriterien Beschränkungen bestehen, die für Verteilungsparameter kriterieller Zufallsvariablen aus (3) resultieren. Dazu werden die jeweils zu berücksichtigenden Kriterien zweckmäßig in k unabhängige Gruppen eingeordnet, abhängig von der Korrelation zwischen den jeweiligen kriteriellen Zufallsvariablen. So kann z. B. eine Gruppe von Kriterien von der Betriebsbelastung abhängen, eine andere von Kurzschlußbeanspruchungen. Stehen n Varianten zur Auswahl, so ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß für die Variante $i \in [1, n]$ alle m_q Kriterien K_{jl} der l-ten Gruppe erfüllt sind,

$$P_{il} = P(K_{i1} \cap K_{i2} \cap \cdots \cap K_{imq}) \tag{15}$$

wenn q derartige Kriteriengruppen existieren. Dabei können für einige oder alle Kriterien durch (3) bedingte Beschränkungen bestehen. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß für Variante $i \in [1, n]$ alle Kriterien eingehalten sind, ist dann

$$P_i = \prod_{l=1}^{k} P_{il}. \tag{16}$$

Mehrkriteriell optimal ist diejenige Variante $j \in [1, n]$, für die diese Wahrscheinlichkeit P_i ein Maximum erreicht:

$$P_j = \max_{i=1}^{n} P_i. \tag{17}$$

Mathematische Modellierung der Bewegungsvorgänge am Vakuumschütz EVS

H. Schmidt, KDT; F. Beer, KDT; J. Keitel, KDT; Berlin

Mit dem ständig wachsenden Automatisierungsgrad aller Industrieanlagen steigen auch die Anforderungen an die zur Steuerung der verschiedenen Arbeitsprozesse eingesetzten Geräte, darunter auch die Schütze. Das erfordert eine hohe mechanische und elektrische Lebensdauer und größtmögliche Betriebssicherheit unter schwersten Bedingungen. Diese Anforderungen erfüllt das vom Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke „Friedrich Ebert" entwickelte und gefertigte Vakuumschütz EVS [1]. Dabei wurde großes Augenmerk auf die Dimensionierung des Magnetantriebes gelegt, der für die dynamische Beanspruchung der einzelnen Baugruppen sowie Bauteile und damit für die Lebensdauer verantwortlich ist. Für die Lösung dieser Aufgabe wurde ein mathematisches Modell aufgestellt, das den Bewegungsablauf des Magnetankers, der Schaltstücke sowie deren elektrische Strombelastung erfaßt.

1. Programmteil Statik

Ein wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Berechnungsmethoden ist die Ermittlung der statischen Magnetkraft des für das Vakuumschütz notwendigen Elektromagneten.
Dazu ist die Kenntnis des verketteten Magnetflusses ψ in Abhängigkeit vom Spulenstrom i und vom Arbeitsluftspalt s erforderlich. Seine Berechnung erfolgt im Unterprogramm „fluss (i, s)" unter

Dipl.-Ing. *Horst Schmidt* ist Mitarbeiter; Dr.-Ing. *Fritz Beer* Abteilungsleiter in der Entwicklung NS-Schaltgeräte im ZFT des K EAW „Friedrich Ebert" Berlin; Dr. sc. techn. *Jürgen Keitel* war zur Zeit der Bearbeitung des Themas Abteilungsleiter.

Die Berechnung dieser Wahrscheinlichkeiten kann analytisch (meist numerisch) oder durch MCS erfolgen.
Als Beispiel sind im Bild 4 für zwei Mittelspannungskabel nach den angegebenen Kriterien derart optimierte Verteilungsparameter (Mittelwert und Variationskoeffizient) ihrer Betriebsbelastung aufgetragen.

Literatur

[1] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Tschernenko, P. A.:* Zufallsverhalten. Monte-Carlo-Simulation und Prognose der Betriebsbelastungen von Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE 40 (1986) 10 S. 386–389
[2] *Denisenko, N. A.; Hoffmann, J.:* Autokorrelationsfunktionen elektrischer Belastungen und Spannungen in Elektroenergieversorgungssystemen (russ.) Elektrischestwo (1985) 1, S. 42–45
[3] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.:* Zum Zufallsverhalten symmetrischer Komponenten in Elektroenergiesystemen. Zeitschrift für elektr. Informations- und Energietechnik 11 (1981) 3, S. 217–229
[4] *Tschernenko, P. A.; Godlewski, P. S.:* Approximative Berechnung statistischer Charakteristika stationärer Betriebszustände (russ.) Elektr. modelirovanie (1975) 6, S. 91–94
[5] *Hoffmann, J.:* Zur Berechnung stochastisch schwankender Ströme und Spannungen in Elektroenergieversorgungssystemen. Zeitschrift f. elektr. Informations- und Energietechnik 7 (1977) 6, S. 568–576
[6] *Heinrich, I.:* Beitrag zur Bewertung und Beeinflussung des stochastischen Spannungsverhaltens im ungestörten Elektroenergiesystem. Diss. A, IH Wismar, 1984
[7] *Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Mundt, H.:* Zum Zufallsverhalten von Kurzschlußströmen in Elektroenergiesystemen. ELEKTRIE 41 (1987) 11, S. 408 bis 410
[8] *Koschorrek, K.:* Beitrag zur stochastischen Modellierung von Kurzschlußvorgängen in Elektroenergienetzen. Diss A. TH Wismar, 1989
[9] *Bencard, R.:* Querschnittsauswahl von Freileitungsseilen bei zufällig variablen Belastungsströmen und Umgebungsbedingungen nach thermischen und ökonomischen Kriterien im fehlerfreien Betrieb. Diss. A IH Wismar, 1985
[10] *Hirte, W.:* Beitrag zur stochastischen Dimensionierung von Starkstromkabeln nach technisch-ökonomischen Gesichtspunkten. Diss. A, IH Wismar, 1983
[11] *Mundt, H.:* Beitrag zur stochastischen Bemessung von Transformatoren nach technisch-ökonomischen Kriterien. Diss. A, IH Wismar, 1986
[12] *Denisenko, N. A.:* Modellierung der Charakteristik und Optimierung der Parameter von Elektroenergieanlagen nach stochastischem Aspekt. Diss. B, TH Wismar 1989
[13] *Peschke, O.:* Beitrag zur stochastischen Bemessung von Elektroenergieanlagen nach ökonomischen Kriterien, Diss. A, IH Wismar, 1987

EA 6059

Verwendung des Durchflutungsgesetzes

$$I\,w = l_{Fe}\,H\,(\Phi) + \frac{s}{\mu_0\,A_{Fe}}\,\Phi \tag{1}$$

und der approximierten Magnetisierungskennlinie des Magnetmaterials

$$B = \frac{H}{a + bH} + \mu_0 H\,. \tag{2}$$

Die aus (1) und (2) gewonnenen Beziehungen

$\psi\,(I)$

$I\,(\psi)$

$$Wm = \int_0^{\psi} I\,(\psi)\,\mathrm{d}\psi$$

dienen zur Berechnung der Magnetkraft $f\,m$ aus der Änderung der magnetischen Energie mit

$$fm = \frac{Wm\,(I, s + \Delta s) - Wm\,(I, s) + (\psi\,s - \psi\,s + \Delta s)\cdot I}{\Delta s}\,. \tag{3}$$

Bild 1 verdeutlicht die energetischen Zusammenhänge.

Die numerische Berechnung der Magnetkraft und des magnetischen Flusses in Abhängigkeit vom Strom und Luftspalt erfolgt mit folgenden Eingabeparametern:

l_{Fe} Länge des Eisenkreises
A_{Fe} Eisenquerschnitt
s_{lr} Restluftspalt
w Windungszahl
a, b Approximationskonstanten für Magnetisierungskennlinie.

2. Programmteil Dynamik

2.1. Bewegungsgleichungen

Bild 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines einpoligen Vakuumschützes EVS. Es existieren zwei bewegliche Systeme mit folgenden einwirkenden Kräften, Massen und Weggrößen:

Ankersystem

fm Zugkraft des Magneten (Berechnung im Unterprogramm „fm", siehe Statik)
fg Kraft der Ankerrückdruckfeder (Berechnung im Unterprogramm „fg")
s Ankeröffnung
mm Masse des beweglichen Magnetteils
sm maximale Ankeröffnung

Bewegliches Kontaktsystem

fl Kraft durch Atmosphärendruck
fr Kraft der Kontaktkraftreduzierfeder (Unterprogramm „fr")
fb Balgkraft (Unterprogramm „fb")
fe Kontaktabstoßende Kraft bei Stromfluß (Unterprogramm „fe")
mbk Masse des beweglichen Schaltstücks mit Zuführung
sbk Kontaktöffnung
sbkm maximale Kontaktöffnung

Da beide Systeme nicht starr miteinander gekoppelt sind, ist eine getrennte Berechnung der Bewegungsgleichungen erforderlich.

Bewegungsgleichung des Ankers

$$\frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}\,t^2} = -\left(\frac{fm\,(i, s) - fg\,(s)}{mm}\right), \tag{4}$$

Bewegungsgleichung des beweglichen Schaltstücks

$$\frac{\mathrm{d}^2\,sbk}{\mathrm{d}\,t^2} = -\left(\frac{fl - fr\,(sbk) + fb\,(sbk) - fe\,(is)}{mbk}\right). \tag{5}$$

Zwischen Anker und beweglicher Schaltstückführung ist eine Berührung möglich, die im Programmablauf durch ständigen Vergleich der Ergebnisse der beiden obigen Bewegungsgleichungen ermittelt wird. Für derartige gekoppelte Bewegungsphasen gilt die Bewegungsgleichung

$$\frac{\mathrm{d}^2 s}{\mathrm{d}\,t^2} = -\left(\frac{fm\,(i, s) + fl - fg\,(s) - fe\,(is) - fr\,(s) + fb\,(s)}{mm + mbk}\right) \tag{6}$$

mit

$$s = sm - sbkm + sbk. \tag{7}$$

— Stoßvorgänge

Im Rechenprogramm werden sämtliche mechanischen Stoßvorgänge berücksichtigt, indem die Geschwindigkeit nach dem Stoß berechnet wird.

Stoß bei Schaltstückberührung (Prellung)

$$\frac{\mathrm{d}\,sbk}{\mathrm{d}\,t} = -\frac{\mathrm{d}\,sbk}{\mathrm{d}\,t}\cdot kbk\,. \tag{8}$$

kbk Stoßfaktor.

Stoß bei Ankeraufschlag auf dem Magneten

$$\frac{\mathrm{d}\,s}{\mathrm{d}\,t} = -\frac{\mathrm{d}\,s}{\mathrm{d}\,t}\,k\,. \tag{9}$$

k Stoßfaktor.

Stoß bei Kopplung zwischen Schaltstückzuführung und Anker Durch Anwendung des Impulssatzes ergibt sich

$$sv = \frac{mm\cdot sv + mbk\cdot sbkv}{mm + mbk}\,. \tag{10}$$

sv Ankergeschwindigkeit vor bzw. nach dem Stoß,
sbkv Geschwindigkeit der beweglichen Schaltstückzuführung.

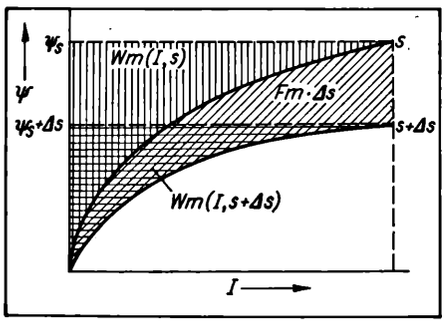


Bild 1. Darstellung der Energieverhältnisse

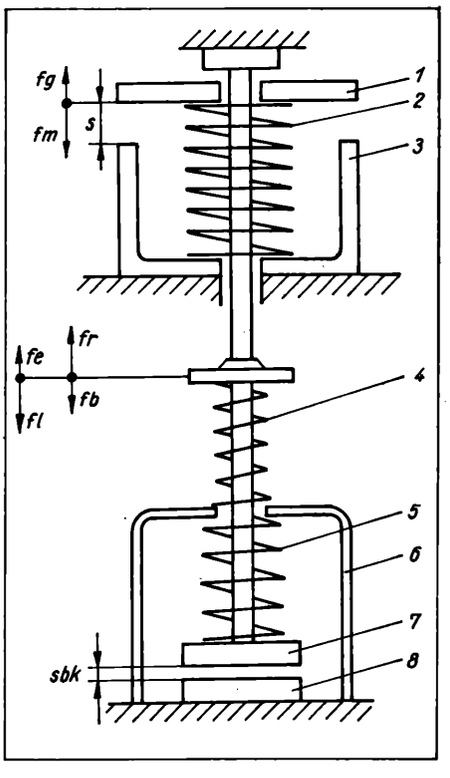


Bild 2. (r.) Prinzipieller Aufbau eines Pols des Vakuumschützes

1 Anker; 2 Ankerdruckfeder; 3 Magnet; 4 Kontaktkraftreduzierfeder; 5 Balg; 6 Vakuumschaltkammer; 7 bewegliches Schaltstück; 8 festes Schaltstück

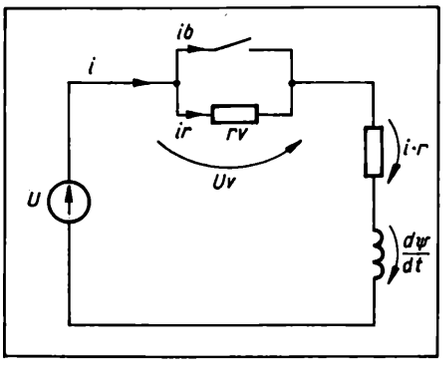


Bild 3. (r. oben) Erregerkreis des Magnetantriebes des Vakuumschützes

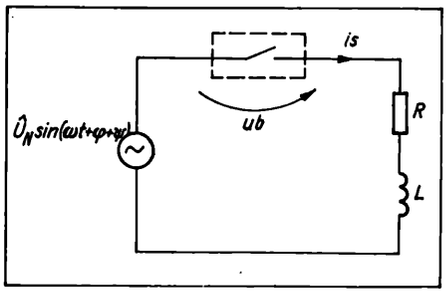


Bild 4. (r. unten) Hauptstromkreis über das Vakuumschütz

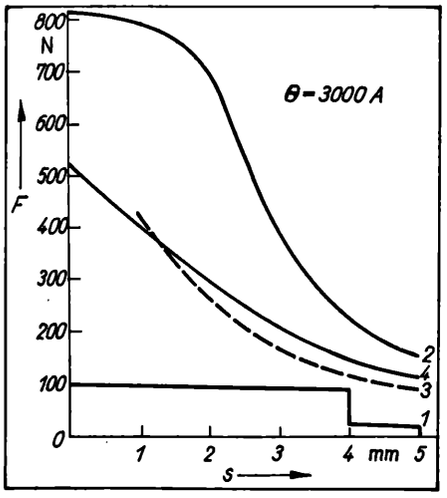


Bild 5. Statische Kraftkennlinien
1 Gegenkraftkennlinie; 2 gerechnete Magnetkraftkennlinie; 3 gemessene Magnetkraftkennlinie; 4 gerechnete Magnetkraftkennlinie, Lagerbuchse berücksichtigt

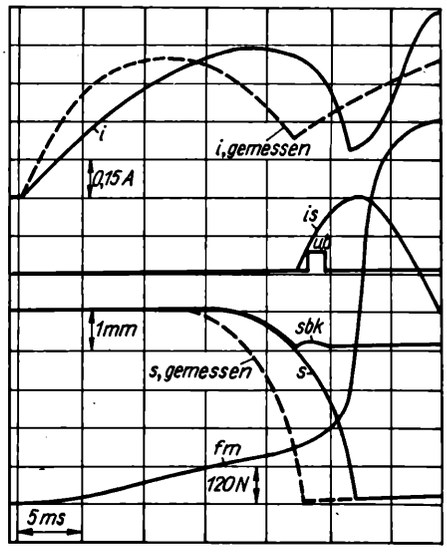


Bild 6. Grafischer Rechnerausdruck für das dynamische Verhalten des Magnetantriebes mit Erregerkreis sowie Hauptstrombahnbelastung

Stoß beim Erreichen der Offenstellung

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{ds}{dt}\,kd. \tag{11}$$

kd Stoßfaktor.
— Reibung
Die im Anker- und Schaltkammerlager auftretende Reibung kann als konstante Kraft in den jeweiligen Bewegungsgleichungen berücksichtigt werden.
Die Bewegungsgleichung selbst wird mit den Unterprogrammen „f2", „f3" und „f4" nach dem Runge-Kutta-Nystroem-Verfahren gelöst.

2.2. Gleichung des Erregerkreises

Bild 3 zeigt den Erregerkreis des Magnetantriebes. Berücksichtigt wird die Verwendung eines Sparwiderstandes (*rv*) mit Umschalter für den Haltebetrieb.
Das Lichtbogenverhalten des Sparumschalters wird mit

$$uv = c + \frac{d}{ib} \tag{12}$$

simuliert.
Für die Umschaltung sind im Programm mehrere Varianten vorgesehen:
— stromabhängig
— zeitabhängig
— flußabhängig
— wegabhängig.
Die Lösung der sich ergebenden Differentialgleichung des Erregerkreises

$$\frac{di}{dt} = \left(u - ir - uv - \frac{d\psi}{dt}\frac{ds}{dt}\right)\Big/\frac{d\psi}{dt} \tag{13}$$

erfolgt nach dem Runge-Kutta-Verfahren [2] im Unterprogramm „f1".

2.3. Gleichung des Hauptstromkreises

Neben dem Bewegungsverhalten von Magnet und Schaltkammer und dem elektrischen Verhalten des Magneten ist im Rechenprogramm auch der im Bild 4 dargestellte Hauptstromkreis modelliert. *ub* ist die Spannung über den Schaltstücken der Kammer.
Für die verschiedenen Betriebsfälle wird angenommen:

$ub = 0$ bei $sbk \leqq 0{,}01$ cm (Kontakt praktisch geschlossen), (14)

$ub = ub$ bei $sbk > 0{,}01$ cm (Lichtbogen brennt), (15)

$ub = un$ bei $sbk > 0$ und $is = 0$ (kein Stromfluß). (16)

Die Differentialgleichung des Hauptstromkreises

$$\frac{dis}{dt} = \frac{1}{\tau}\left[\frac{is\,\max}{\cos\varphi}\left(\sin(\omega t + \varphi + \psi) - \frac{ub}{\hat{U}n}\right) - is\right] \tag{17}$$

wird nach dem Runge-Kutta-Verfahren im Unterprogramm „fi" gelöst. Die Eingabe der 65 notwendigen Parameter erfolgt numerisch über Lochstreifen für folgende Berechnungsgrößen: *t, ti, s, sbk, sv, sbkv, fm, fg, fr, fb, u* ind, *i, ib, is, uv*. Die Ausgabe erfolgt grafisch als Abhängigkeit von der Zeit für folgende Größen: *s, sbk, u* ind, *uv, i, ib, is, ub*.

3. Ergebnisse

Das errechnete statische und dynamische Verhalten wurde an Funktionsmustern von Vakuumschützen überprüft. An einem ersten Muster zeigte sich, daß die berechnete statische Kraft des Magneten mit der gemessenen gut übereinstimmt.
An einem zweiten Muster mit wesentlich höherer Durchflutung und damit besserer Ausnutzung des Eisenquerschnitts lag die errechnete Magnetkraft insbesondere bei kleinem Hub höher als die gemessene.
Bild 5 zeigt die Gegenkraftkennlinie (Kurve 1) und die Magnetkraftkurven entsprechend Rechnung (Kurve 2) und Messung (Kurve 3). Durch die Berücksichtigung der funktionell notwendigen Lagerbuchse für den Anker, die im Eisenkreis liegt und praktisch die Bedingungen am Restluftspalt bestimmt, konnte relativ gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung erzielt werden (Kurve 4). Das unter diesen Voraussetzungen errechnete dynamische Verhalten des Vakuumschützes zeigt Bild 6.
Der grafische Rechnerausdruck für den Einschaltvorgang ohne Berücksichtigung des Sparumschalters im Erregerkreis zeigt in Abhängigkeit von der Zeit folgende Größen: *i, s, sbk, fm, is, ub*. Man sieht, daß die entscheidenden physikalischen Vorgänge, wie z. B. Stromeinsattellung durch die Ankerbewegung, Entkopplung zwischen Anker und Magnet und Schaltstückprellen, qualitativ wiedergegeben werden.
Für die Größen *i* und *s* ist im Bild 6 der gemessene Verlauf mit eingetragen. Es sind lediglich zeitliche Verschiebungen festzustellen, die vermutlich auf Wirbelstromeinflüsse zurückzuführen sind.

4. Zusammenfassung

Werden Rechnung und Experiment miteinander verglichen, so sind grundsätzliche Übereinstimmungen im Bewegungsablauf und im Vergleich der elektrischen Größen feststellbar (Bild 6).
Quantitative Abweichungen von den Messungen sind im wesentlichen auf folgendes zurückzuführen:
— Die Rechnung erfolgte unter Vernachlässigung der Streuung.
— Der Rechnung wurde eine approximierte Magnetisierungskennlinie zugrunde gelegt.
— In der Rechnung sind die Wirbelströme nicht berücksichtigt.
Insgesamt bringt die Möglichkeit der Vorausberechnung des statischen und dynamischen Verhaltens des Magnetantriebes für Vakuumschütze in Abhängigkeit von verschiedenen elektrischen und konstruktiven Parametern Vorteile. Sie ermöglicht eine Verringerung des experimentellen Aufwandes und die Auswahl günstiger konstruktiver Parameter.
Selbstverständlich sind durch Schaffung dieses mathematischen Modells für das Vakuumschütz EVS Experimente nicht gegenstandslos geworden. Messungen und Prüfungen erfüllen nicht nur die Aufgabe, das berechnete Verhalten zu überprüfen, sondern sie liefern den Nachweis der charakteristischen technischen Kennwerte eines Schaltgerätes entsprechend den nationalen und internationalen Vorschriften.

Literatur

[1] *Burkhard, G.; Gebauer, E.:* Vakuumschütze aus dem Kombinat VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow — die neue Generation der Schütze für schwere Betriebsbedingungen. Impuls 20 (1980) 2, S. 58—63
[2] *Bräuning, G.:* Gewöhnliche Differentialgleichungen. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1965, S. 176 ff.

EA 5760

Neuer permanenterregter Motor kleiner Leistung

U. Schult, KDT, Karl-Marx-Stadt

Durch neue Anwendungsgebiete, besonders im Bereich hochwertiger Konsumgüter, verstärken sich die Forderungen an permanentmagnetisch (PM-)erregte Motoren kleiner Leistung nach Erhöhung der Abgabeleistung und Zuverlässigkeit einerseits und nach Reduzierung des Bauvolumens andererseits. Ausgehend von den Hauptabmessungen und den Betriebsparametern des zum 8. Symposium Elektromaschinenbau [1] vorgestellten PM-Motors, Typ NP 55, (VEB Elektrowärme Altenburg) soll anhand der im VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt durchgeführten Untersuchungen dargestellt werden, wie durch den Einsatz eines Magnetwerkstoffs mit höherer Energiedichte diese Anforderungen bei gleichzeitiger Erweiterung der Anwendungsgebiete erfüllt werden können.

1. Vorgaben für die Entwicklung des PM-Motors NP 70 mit anisotropen Magnetmaterial

PM-Motoren allgemeiner Anwendung bis zu einer Abgabeleistung von etwa 20 W haben international einen Außendurchmesser von 28 mm. Das ist durch die Konfiguration der eingesetzten Magnetringe bzw. Magnetsegmente bedingt. Für die Entwicklung des NP 70 waren im Vergleich zu dem in [1] vorgestellten NP 55 folgende technische Kennwerte zu sichern:

		NP 70	NP 55
Nennmoment	Ncm	0,7	0,5
max. Drehzahl	min^{-1}	20000	18000
Motordurchmesser	mm	28	28
Motorlänge, ohne Wellenende	mm	45	55
Masse	g	60	85

Zur Gewährleistung einer Produktionsstückzahl in der Größenordnung über 1 Mio. Stück/a war die konstruktiv-technologische Auslegung des PM-Motors so geplant, daß weitestgehend automatisierte Ankerfertigung und Motormontage möglich sind.

1.1. Magnetmaterial

Von den zur Verfügung stehenden Magnetwerkstoffen auf der Basis von Bariumferrit ist Maniperm 860 (VEB Keramische Werke Hermsdorf), ein anisotropes Material, am besten geeignet, die oben genannten Vorgaben bzgl. der Masse- und Volumenreduzierung bei gleichzeitiger Erhöhung der Abgabeleistung zu erfüllen. Im Bild 1 sind die Entmagnetisierungskennlinien des isotropen Werkstoffs Maniperm 820 und des anisotropen Maniperm 860 gegenübergestellt. Der Vorteil des etwa 3,5fach höheren Energieprodukts des anisotropen Magnetwerkstoffs muß jedoch mit einem 2,5fach höheren Preis erkauft werden, so daß 60 % der Materialkosten auf das Magnetsystem entfallen. Im Gegensatz dazu beträgt der Materialkostenanteil des Magnetringes beim Typ NP 55 nur 20 %.
Die geometrische Konfiguration des Erregersystems, beim isotropen Magnetwerkstoff als Ring und beim anisotropen Werkstoff in Form von Segmenten ausgeführt, ist im Bild 2 dargestellt.

1.2. Auslegung des magnetischen Kreises

Zur Optimierung des magnetischen Kreises auf der Basis von Magnetsegmenten (Bild 2) wurde eine Variantenrechnung durchgeführt mit Variation u.a. folgender Parameter bzw. Konstruktionsmaße:

- Nutenzahl N = 7 oder 5
- Bürstenspannungsabfall (bedingt durch eingesetztes Bürstenmaterial) 2,5 oder 5 V
- Magnetlänge L_M = 16 oder 14 mm
- Ankerlänge L_A = 14/13/12 mm
- Jochhöhe H_J = 1,0/0,8/0,7/0,6 mm

Auswahlkriterien für die zu realisierende Auslegungsvariante:

- Betriebsrichtwerte
  - Motorspannung U_M = 15 V
  - Drehzahl n_M = 16000 min^{-1}
- Konstruktionsrichtwerte
  - Nutzahl N = 5
  - Magnetlänge = Ankerlänge + 2 mm (minimal 1 mm)
  - Rückschlußdicke (Jochhöhe): minimieren
- Elektromagnetische Richtwerte
  relativer magnetischer Spannungsabfall $V_J : V_L = 0{,}2 \cdots 0{,}3$
  Ankerverlustleistung etwa 4,5 W

Auf dieser Grundlage wurde folgende Variante ausgewählt:

- Bürstenmaterial Metallgraphit
- Jochdicke 0,75 mm
- Magnetlänge 14 mm
- Ankerlänge 13 mm
- Drehmoment 0,68 Ncm
- $V_J : V_L$ 0,29

2. Konstruktion des PM-Motors NP 70

Der konstruktive Aufbau ist aus den Bildern 3 und 4 ersichtlich; zum Vergleich ist im Bild 5 der NP 55 dargestellt. Das Magnetsystem des PM-Motors NP 70 besteht aus 2 Segmenten (Bild 2) in einem becherförmigen Gehäuse. Dabei liegen die Segmente einseitig in Radialrichtung an eingestellten Gehäuselaschen an und werden auf den anderen Seiten durch eine Formfeder angedrückt. Den Axialanschlag bilden 2 in Segmentmitte angeordnete Ausklinkungen im Gehäuse. Die Wanddicke des Bechers muß maximal 0,75 mm betragen, damit das vorgesehene Drehmoment des Motors erreicht wird. Mit der ausgewählten Magnetkreisanordnung ergibt sich ein mittlerer einseitiger radialer Luftspalt von 0,4 mm.
Der Anker ist durch eine absatzlose Welle mit dem Durchmesser d = 2,5 mm, auf die das Ankerblechpaket, bestehend aus einem 5-nutigen Ankerblech, gepreßt ist, gekennzeichnet. Die Ankerisolation erfolgt konventionell mit Preßspan als Nutauskleidung und Ankerendscheiben aus Polyamid.

Dipl.-Ing. *Uwe Schult* ist Abteilungsleiter Motorenentwicklung im VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt.

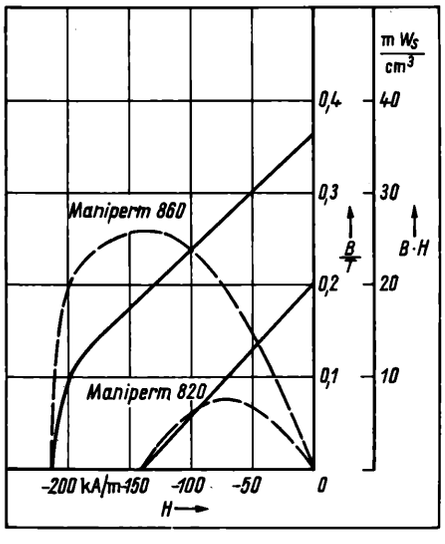


Bild 1. Maniperm 820 und 860 im Vergleich
——— Entmagnetisierungskennlinien;
– – – – Energiedichte

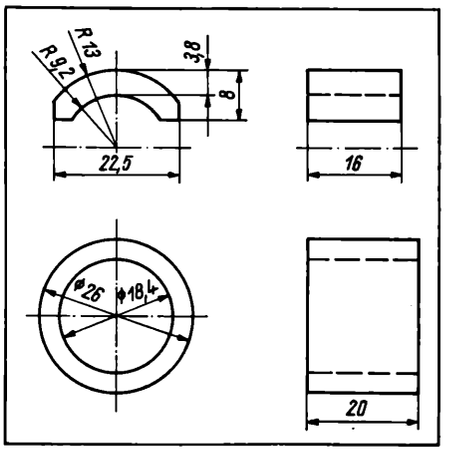


Bild 2. Abmessungen des Magnetsegments aus Maniperm 860 für NP 70 und des Magnetrings aus Maniperm 820 für NP 55

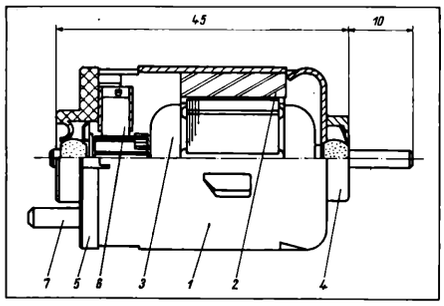


Bild 3
Konstruktiver Aufbau des PM-Motors NP 70
1 Gehäuse; 2 Magnetsegment; 3 Anker; 4 D-Lagerbaugruppe; 5 N-Lagerschild mit SB-Kalotte; 6 Bürstenführung mit Bürste; 7 Flachsteckanschluß

Der 5lamellige Kommutator ist als Hakenkommutator ausgeführt und in seinen Abmessungen minimiert: d = 6,4 mm.
Die D-seitige Sinterbronzekalotte wird mit einer metallischen Lagerhalterung, die in Verbindung mit einer Klemmbrille in den Boden des Gehäusebechers eingepreßt wird, befestigt. Die metallische Halterung des D-Lagers gewährleistet eine optimale Wärmeabführung vom Kalottenlager und hat damit wesentlichen Anteil an der Erhöhung der Zuverlässigkeit. Zur weiteren Vorbeugung eines vorzeitigen Lagerverschleißes kann in den Zwischenraum der Lagerhalterung und Klemmbrille ein Tränkmittel von pastöser Konsistenz eingebracht werden.
Das N-seitige Lagerschild, ausgeführt als relativ flaches, scheibenförmiges Spritzteil, wird im Gehäuse zentriert und mit 2 um 180° versetzt eingeschnittene und zurückgestellte Gehäuselaschen, die in eine Nut des Lagerschildes eingreifen, verlascht. Das Sinterbronzekalottenlager wird zwischen einer in das Lagerschild integrierten Plastmembran und einer Druckscheibe gehalten. Im Bild 6 ist die patentierte Lösung der Lagerbefestigung dargestellt. Nach dem Vorspannen um 0,2 bis 0,3 mm der Membran mit der Druckscheibe und anschließendem Tempern läßt sich ein von der Betriebsdauer weitgehend unabhängiges Kalottenverstellmoment von etwa 1,0 Ncm realisieren.

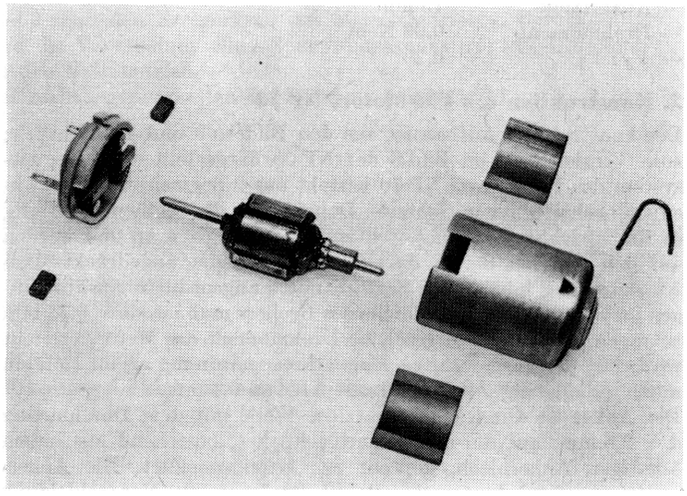


Bild 4. Explosivdarstellung

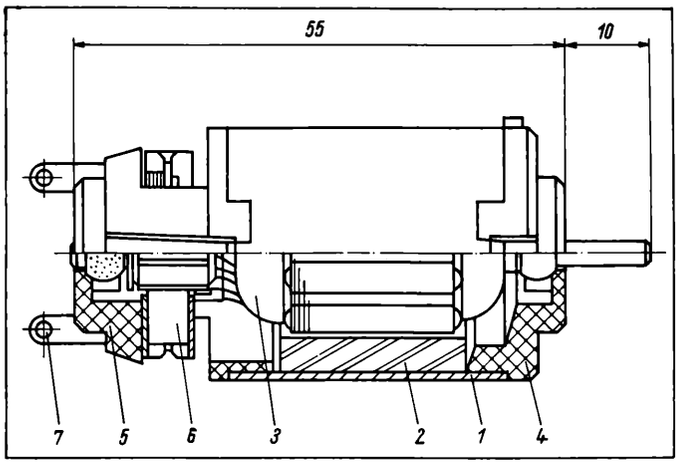


Bild 5. Konstruktiver Aufbau des PM-Motors NP 55
1 Gehäuse; 2 Magnetring; 3 Anker; 4 D-Lagerschild mit SB-Kalotte; 5 N-Lagerschild mit SB-Kalotte; 6 Bürstenführung mit Bürste; 7 Lötanschluß

Wie die Baugruppendarstellung (Bild 7) zeigt, sind für den Bürstenhalter zwei Ausführungsformen vorgesehen. Der Taschenbürstenhalter, konstruktiv an den gegenwärtig im NP 55 eingesetzten angelehnt, wird aus einem Stück gebogen und ist mit einer Kontaktfahne zum Anschluß von 2,8-mm-Flachsteckverbinder vorgesehen. Die Kontaktfahne des Bürstenhalters wird in das Lagerschild geschoben und danach der Federbolzen mit aufgesetzter Drehfeder eingedrückt. Diese relativ aufwendige Konstruktion gewährleistet den Einsatz von Bürsten mit den Abmessungen (B × H × L) 3 mm × 4,5 mm × 6,5 mm und einen über die Verschleißlänge der Bürste nahezu unabhängigen Bürstendruck. Damit sind beste Voraussetzungen für eine hohe Lebensdauer gegeben.
Der weniger aufwendige Hammerbürstenhalter, hier übernimmt eine speziell gebogene und geprägte Flachformfeder aus Bronze gleichzeitig die Führung und die Erzeugung des Bürstendruckes, ermöglicht aber nur eine geringe Verschleißlänge der Bürste bei progressiver Abnahme des Bürstendrucks in Abhängigkeit vom Bürstenverschleiß. Mit der Bürstenqualität M2 (Metallgraphit) ist gegenüber der Marke G21 (Graphitbürste) ein um etwa 5% höherer Wirkungsgrad möglich. Demgegenüber hat die Qualität G21 den geringeren spezifischen Bürstenverschleiß.

3. Betriebsparameter und Kennlinien des NP 70

Im Bild 8 sind die Betriebskennlinien des NP 70 denen des NP 55 gegenübergestellt. Bemerkenswert an den Betriebskennlinien ist der relativ starke Abfall der Drehzahl in Abhängigkeit vom Moment; etwa 25% bei Nennmoment bezogen auf die Leerlaufdrehzahl. Das Verhältnis Anlauf- zu Nennmoment beträgt damit etwa 4 : 1 bzw. 2 Ncm beim NP 55 und 2,8 Ncm beim NP 70. Die Ursachen hierfür liegen in der niedrigen Luftspaltinduktion von 0,16 T beim NP 55 mit Maniperm 820 und 0,24 T beim NP 70 mit Maniperm 860 und in der daraus resultierenden hohen Ankerwindungszahl sowie dem damit verbundenen hohen Ankerwiderstand.
Beim Nennmoment verbessert sich der Wirkungsgrad von $\eta = 38\%$ (NP 55) auf $\eta = 48\%$ (NP 70 mit Bürstenqualität M2).
Der an Prototypen NP 70 ermittelte Vergleich der Betriebskennlinien zeigt, daß durch den Einsatz des anisotropen Magnetwerkstoffs Maniperm 860 die im Abschn. 1. angeführten Vorgaben, insbesondere eine Steigerung des Nennmoments um 40% bei gleichzeitiger Reduzierung der Masse um 30%, erreicht werden.
Die nutzbare Abgabeleistung in Abhängigkeit von der Wicklungsauslegung für die Nennspannungen 6, 12 und 24 V für den PM-Motor NP 55 und den PM-Motor NP 70 ist im Bild 9 dargestellt. Zu erkennen ist, daß mit abnehmender Nennspannung eine beachtliche Reduzierung der nutzbaren Abgabeleistung bei gleichzeitiger Senkung der Nenndrehzahl verbunden ist. Die Ursachen liegen in der Begrenzung des maximal zulässigen Ankerstroms (etwa 1,4 A

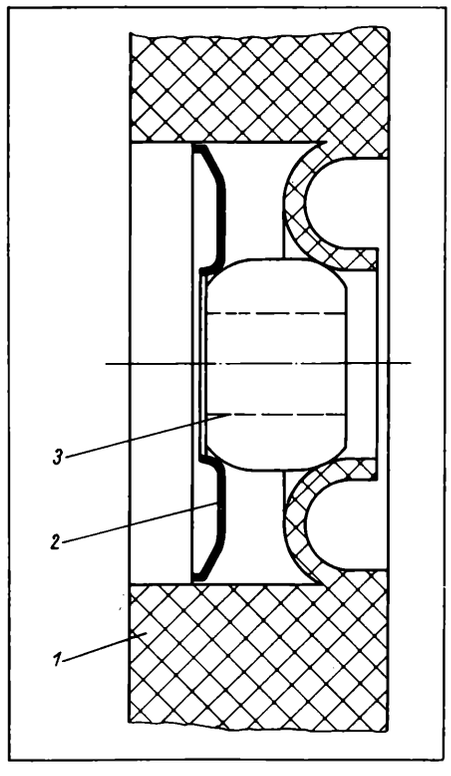


Bild 6
Befestigung des Kalottenlagers im N-Lagerschild
1 N-Lagerschild;
2 Druckscheibe; 3 Sinterbronzekalottenlager

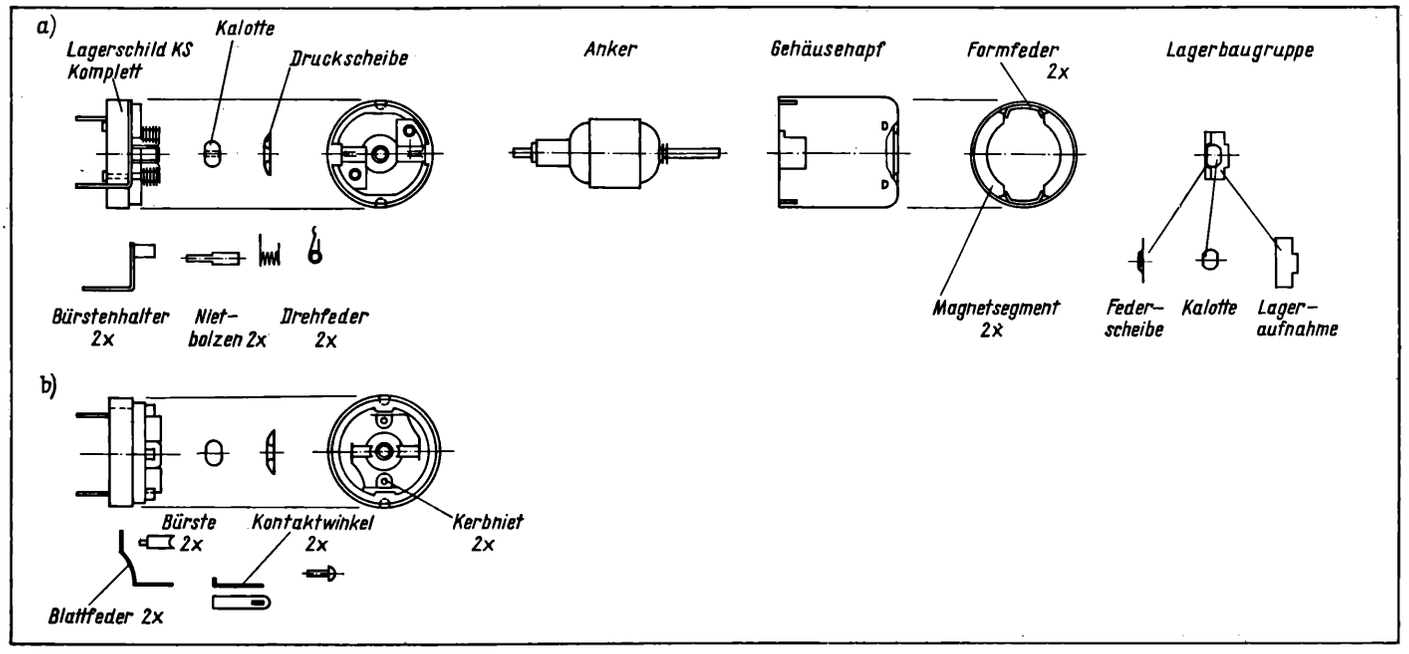


Bild 7. Baugruppendarstellung des PM-Motors NP 70, a) Taschenbürstenhalter; b) Hammerbürstenhalter

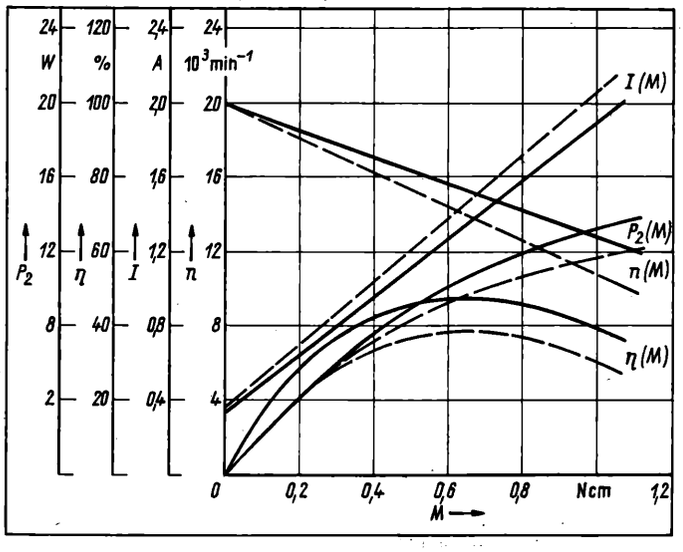


Bild 8. Betriebskennlinien ——— NP 70; – – – – NP 55

beim NP 55 und etwa 1,75 A beim NP 70 mit Metallgraphitbürste) durch die gegebene Bürstenstromdichte, in der technologisch realisierbaren Ankerwindungszahl sowie dem bei gegebenen Nutquerschnitt ausführbaren Drahtquerschnitt.

Aus den dargestellten Bereichen der nutzbaren Abgabeleistung ist abzuleiten, daß bei Ausnutzung der maximal möglichen Abgabeleistung eine möglichst hohe Nennspannung zu wählen ist und daß durch den verbesserten Wirkungsgrad des NP 70 die nutzbare Abgabeleistung bedeutend erweitert werden kann. Selbstverständlich muß bei der maximalen Abgabeleistung die zulässige Wärmebeständigkeitsklasse (NP 70 WBK E) berücksichtigt werden.
Um den Anforderungen batterie- bzw. akkubetriebener Geräte hinsichtlich der Antriebe für Nennspannungen von 1,5 und 3 V optimal gerecht zu werden, ist ein 3nutiges Ankerblech bei maximal möglichem Bürstenquerschnitt mit einer Bürstenqualität mit möglichst hohem Metallanteil für den NP-Motor einzusetzen.

4. Zusammenfassung

Mit dem vom VEB Ingenieurbüro Elektrogeräte Karl-Marx-Stadt entwickelten PM-erregten Motor Typ NP 70 wird zukünftig ein wichtiges Antriebselement zur Realisierung anspruchsvoller Antriebsaufgaben für technisch hochwertige Konsumgeräte zur Verfügung gestellt. Dieser Antrieb wird einerseits den ständig steigenden Anforderungen an die Betriebszuverlässigkeit und andererseits durch den Einsatz des anisotropen Magnetwerkstoffs Maniperm 860 der Forderung nach Erhöhung der Abgabeleistung bei gleichzeitiger Reduzierung des Volumens und der Masse gerecht.

Literatur

[1] *Schult, U.*: Permanenterregte Motoren kleiner Leistung für allgemeine Anwendung. ELEKTRIE, Berlin 42 (1988) 8, S. 295–298

EA 6004

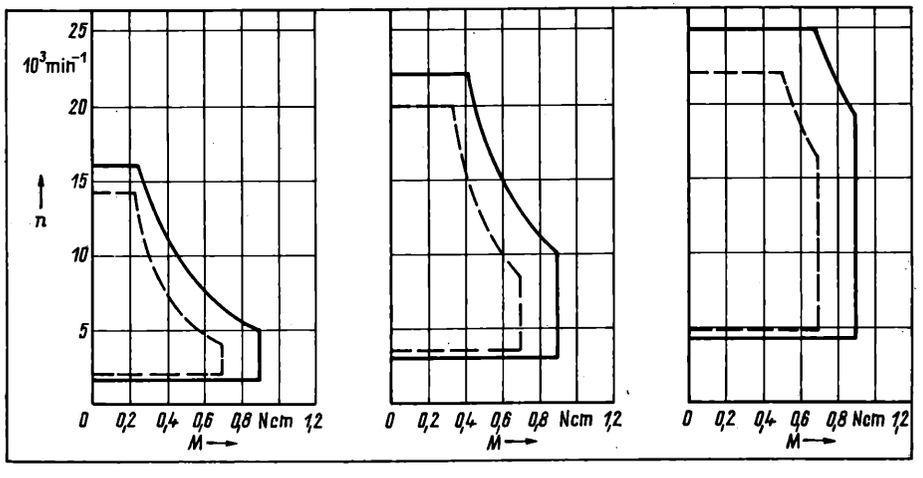


Bild 9. Nutzbare Abgabeleistung für verschiedene Betriebsspannungen ——— NP 70; – – – – NP 55

Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger Freileitungssysteme – Modellbildung

H. Junghans; H. Winkler, Leipzig; M. Szuba, Wroclaw, VR Polen

Mitteilung aus der Sektion Elektroenergieanlagen der TH Leipzig, Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik

Immer wieder treten Fragen der Wechselwirkungen zwischen Freileitungen als wichtige Elektroenergieübertragungssysteme (EEÜS) und der Umwelt in den Vordergrund wissenschaftlich-technischer Aufgabenstellungen. Die Untersuchung der Wirkung des elektrischen und des magnetischen Feldes von Freileitungen auf Lebewesen ist ein wichtiger Aspekt der Umweltverträglichkeit. Ein breites Themenspektrum ergibt sich aus der Betrachtung von Beeinflussungsproblemen durch Freileitungen.

Nicht weniger wichtige und komplexe Probleme stellen sich auf dem Gebiet der Elektrosicherheit. Trotz geltender Standards und Normen sowie Vorschriften des Arbeitsschutzes kommt es zu Unfällen bei Arbeiten von freizügig ortsveränderlichen Arbeitsmaschinen (FOAM) im Bereich von spannungsführenden Leiterseilen. Die Ursachen für diese z.T. tragischen Unfälle sind nicht selten leichtsinniges oder verantwortungsloses Handeln der Beteiligten. Eine entscheidende Verringerung der Unfallgefahr erfordert ein Gerät, das unabhängig vom Menschen die Einhaltung der Mindestannäherungsabstände realisiert. Der Bedarf an entsprechender Sicherheitstechnik für FOAM geht über den nationalen Rahmen hinaus. Existierende Konzepte bzw. Geräte werden nur unzureichend der zu erfüllenden, sehr komplexen Funktion gerecht. Oftmals konträr wirkende Forderungen, z.B. nach geringer Ansprechtoleranz einerseits und nach robustem Aufbau des gesamten Sicherheitssystems bei vertretbaren Kosten andererseits, zwingen zu Kompromissen bei der praktischen Umsetzung.

Kapazitive Sensoren bieten die Möglichkeit, bei relativ einfachem Aufbau ein Signal aus dem sich zeitlich periodisch ändernden elektrischen Feld zwischen den ladungstragenden Leiterseilen und dem Erdboden zu gewinnen. Darin ist ein Grund dafür zu sehen, daß die meisten praktisch realisierten Spannungswarngeräte (SWG) das Warnsignal aus dem elektrischen Feld gewinnen. Dabei wurde bisher die große Anzahl die Feldstruktur bzw. den Betrag des Feldstärkenvektors E beeinflussenden Faktoren nicht in erforderlichem Umfang in die theoretischen Untersuchungen einbezogen und bei der praktischen Realisierung berücksichtigt.

Nachfolgend werden gebräuchliche Modelle zur Beschreibung des elektrischen Feldes beschrieben. Eine Auswahl erfolgte dabei unter Berücksichtigung der Implementierbarkeit entsprechender Algorithmen auf derzeit verfügbarer Mikrorechentechnik (z.B. A 7150). Besonders wird auf die unterschiedliche Beschreibung des Feldstärkevektors E für Einphasen- und Mehrphasensysteme eingegangen.

1. Beschreibung des elektrischen Feldes von FLS

1.1. 2-dimensionale Betrachtungsweise

Die Untersuchung des Einflusses der geometrischen und elektrischen Parameter des FLS auf die sich ausbildende Feldstruktur wird gewöhnlich unter folgenden vereinfachenden Annahmen vorgenommen:

— unendlich lange, gerade, zylindrische Leiter, die parallel zueinander und zur Erdoberfläche verlaufen
— die Erdoberfläche ist eben und elektrisch leitfähig (das Potential $\varphi = 0$)
— die Höhe der Leiter über der Erdoberfläche bzw. der Abstand zwischen den Leitern ist viel größer als der Leiterdurchmesser.

Für eine Frequenz $f = 50$ Hz ergibt sich eine Wellenlänge für das elektromagnetische Feld von $\lambda = 6000$ km. Die geometrischen Abmessungen des felderzeugenden Systems sind somit sehr klein im Vergleich zur Wellenlänge λ. Das sich ausbildende Feld kann in guter Näherung als quasistationär angesehen werden und es erfolgt eine getrennte Beschreibung des elektrischen und des magnetischen Feldes.

Unter der Voraussetzung der Raumladungsfreiheit wird diese Aufgabe aus feldtheoretischer Sicht durch die 2-dimensionale Laplacesche Gleichung

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \qquad (1)$$

eindeutig beschrieben. Die Linearität der Potentialgleichung ermöglicht die Anwendung des Superpositionsprinzips, so daß die Randbedingungen durch Überlagerung von Partikulärlösungen exakt oder näherungsweise erfüllt werden. Durch Einführung fiktiver Spiegelladungen (Spiegelungsmethode) läßt sich der Einfluß der Erdoberfläche berücksichtigen. Bei der 2-dimensionalen Beschreibung des elektrischen Feldes wird eine konstante Linienladungsdichte $\tau = Q/l$ der einzelnen Leiter angenommen, deren Lage mit der jeweiligen Leiterachse identisch ist. Legt man die Leiterachsen in Richtung der z-Achse des kartesischen Koordinatensystems (0, x, y, z) ergeben sich Feldstrukturen in der x-y-Ebene.

Praktisch enthält die Lösung der Differentialgleichung die folgenden Schritte:

— Bestimmung der Ladungsverteilung aus der Geometrie des FLS und den Leiterpotentialen:

$$P_n = G_{nm}\, Q_m \qquad (2)$$

P_n Vektor der Leiterpotentiale
G_{nm} Matrix der Potentialkoeffizienten
Q_m Vektor der Ladungsmengen

wobei m = n gilt. Die Potentialkoeffizienten werden durch die Geometrie der Anordnung bestimmt [1].

— Bestimmung der Feldgrößen in vorgegebenen Aufpunkten durch Überlagerung der Teilfeldgrößen, resultierend aus den Ladungsmengen der einzelnen Leiter.

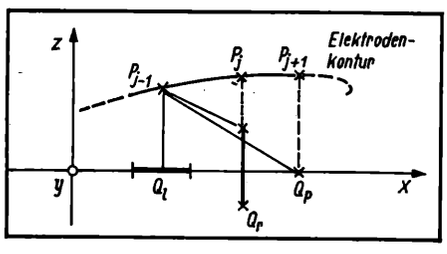


Bild 1. Mehrleitersystem an einer rechtwinkligen Begrenzungsfläche

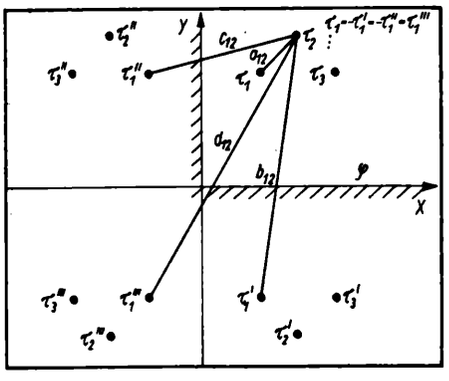


Bild 2. Fiktive Ersatzladungen im Elektrodeninneren

Dipl.-Ing. *H. Junghans* ist befristeter Assistent und a.o. Doz. Dr. rer. nat. *H. Winkler* ist Oberassistent am Lehrstuhl Grundlagen der Elektrotechnik der TH Leipzig (Inhaber: Prof. Dr. sc. techn. *Altmann*), Dr. inz. *M. Szuba* ist Oberassistent am Institut Energoelektryki – Polytechnikum Wroclaw (Lehrstuhl: Prof. Dr. -Ing. habil. *Teresiak*).

[1]) Beitrag zur Forschung auf dem Gebiet der Elektrosicherheit, Teilaufgabe „Entwicklung von Spannungswarngeräten". Weitere Einzelheiten werden zur Wissenschaftlichen Konferenz der Sektion (10. bis 12. Oktober 1989) in Leipzig vorgetragen.

Bei Vorgabe sinusförmiger Zeitverläufe der Leiterpotentiale erfolgt die Transformation der zeitveränderlichen Größen in den Bildbereich unter Anwendung der komplexen Rechnung. Die Lösung des linearen Gleichungssystems (2) wird für den Real- und Imaginärteil getrennt durchgeführt.

Die im Bild 1 dargestellte Feldanordnung ermöglicht eine erste Bewertung der durch elektrisch leitfähige Begrenzungsflächen gestörten Feldverhältnisse. Der Rechenaufwand gegenüber der eingangs beschriebenen Feldanordnung steigt nur unwesentlich. Aus Bild 1 leiten sich die folgenden Gleichungen für die Potentialkoeffizienten ab:

$$g_{ii} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{2 x_i y_i}{r_i (x_i^2 + y_i^2)^{1/2}}\right), \tag{3}$$

$$g_{ik} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0} \ln\left(\frac{b_{ik} c_{ik}}{a_{ik} d_{ik}}\right), \quad i \neq k \tag{4}$$

mit

$$a_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2},$$

$$b_{ik} = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i + y_k)^2},$$

$$c_{ik} = \sqrt{(x_i + x_k)^2 + (y_i - y_k)^2},$$

$$d_{ik} = \sqrt{(x_i + x_k)^2 + (y_i + y_k)^2}.$$

1.2. 3-dimensionale Analyse elektrischer Felder von FLS

Einen entscheidenden Einfluß auf die sich ausbildende Feldstruktur haben die den Feldraum begrenzenden Oberflächenkonturen elektrisch leitfähiger geerdeter oder isoliert im Raum angeordneter Objekte (Freileitungsmaste, Fahrzeuge, Bäume usw.). Es ergeben sich räumliche Feldstrukturen, deren Beschreibung auf der Grundlage 3-dimensionaler Modellvorstellungen erfolgen muß. In der Hochspannungstechnik haben zur Lösung derartiger Feldberechnungen die Charge Simulation Method (CSM Ersatzladungsverfahren) oder aus ihr abgeleitete Verfahren große Verbreitung gefunden. Grundlegende Aussagen zu diesen Verfahren sind in [2] [3] enthalten. An dieser Stelle sollen einige Erläuterungen zur Anwendung des Verfahrens für die 3-dimensionale Berechnung der elektrischen Felder beliebiger FLS in Anlehnung an [4] vorgenommen werden.

Die Lösung der Laplaceschen Gleichung (1) erfolgt prinzipiell wie im Abschn. 1.1. beschrieben wurde. Im Unterschied hierzu erfolgt die Nachbildung der in der Realität unendlich fein über die Elektrodenoberfläche verteilten Ladungsmenge durch eine endliche Anzahl diskreter

— Punkt-

— Linien- und

— Ringladungen

im Inneren der Elektrode (Bild 2). Jeder Ladung wird auf der Oberfläche ein Konturpunkt zugeordnet, in dem die Randbedingung erfüllt sein muß. Analog zu (2) ergibt sich für n Ladungen ein n-dimensionales lineares Gleichungssystem. Für die konkrete Anwendung dienen zur Nachbildung der Oberflächenladungsdichten Linien- bzw. Ringladungen mit abschnittsweise konstanter Ladungsbelegung. Ihnen werden einschließlich den entsprechenden Spiegelladungen geeignete kartesische Koordinatensysteme zugeordnet (geometrische Drehung und Verschiebung), ohne die Feldanordnung zu beeinflussen. Das wird am Beispiel eines Linienladungsabschnitts näher erläutert (Bild 3). Für einen Linienladungsabschnitt mit der Länge l und der Linienladungsdichte $\tau = Q/l$ gilt für ein differentielles Längenelement d s

$$\mathrm{d}Q = \frac{Q}{l}\,\mathrm{d}s \tag{5}$$

und

$$\mathrm{d}g_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\,\frac{\mathrm{d}s}{r} \tag{6}$$

wobei

$$r = \sqrt{(s - x)^2 + y^2 + z^2} \tag{7}$$

gilt. Das Potential in einem Aufpunkt P mit der Ordnungsnummer i, hervorgerufen durch die k-te Ladung, ergibt sich durch Integration über die Länge l des Linienladungsabschnitts (Bild 3). Der Potentialkoeffizient hat somit die Form

$$g_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 l} \ln \frac{(l - x + \sqrt{(l - x)^2 + y^2 + z^2})}{(-x + \sqrt{x^2 + y^2 + z^2})}. \tag{8}$$

Durch analoges Vorgehen wird der Potentialkoeffizient für ein Ringladungssegment gebildet (Bild 4):

$$g_{ik} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 (\alpha_1 - \alpha_0)} \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \frac{\mathrm{d}\varphi}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2 + r_0^2 - 2 x r_0 \cos\varphi - 2 y r_0 \sin\varphi}}. \tag{9}$$

Die Integration über den Winkel $(\alpha_1 - \alpha_0)$ erfolgt numerisch, wobei eine Fehlergrenze vorgegeben wird. Bei beliebiger Lage der Linienladungen bzw. Ringladungen im Raum wird jeder Teilladung und der jeweiligen Spiegelladung ein Koordinatensystem entsprechend Bild 5 zugeordnet. Es gelten folgende Koordinatentransformationen:

$$x_1 = [(x - x_m)\cos\beta + (y - y_m)\sin\beta]\cos\alpha + (z - z_m)\sin\alpha,$$

$$y_1 = -(x - x_m)\sin\beta + (y - y_m)\cos\beta,$$

$$z_1 = -[(x - x_m)\cos\beta + (y - y_m)\sin\beta]\sin\alpha + (z - z_m)\cos\alpha$$

und

$$x_2 = [(x - x_m)\cos\beta + (y - y_m)\sin\beta]\cos\alpha - (z + z_m)\sin\alpha,$$

$$y_2 = -(x - x_m)\sin\beta + (y - y_m)\cos\beta,$$

$$z_2 = [(x - x_m)\cos\beta + (y - y_m)\sin\beta]\sin\alpha + (z + z_m)\cos\alpha.$$

Der Winkel α charakterisiert die Drehung der Koordinatensysteme $(x1, y1, z1)$ und $(x2, y2, z2)$ in der x-z-Ebene und der Winkel β in der x-y-Ebene. Die Koordinaten (x_m, y_m, z_m) beschreiben die Verschiebung des Koordinatenursprungs des jeweiligen Systems. Eine Kontrolle der Rechengenauigkeit kann durch die Berechnung der räumlichen Potentialverläufe im Elektrodenbereich vorgenommen werden. Weitere Möglichkeiten sind in [4] erwähnt.

1.3. Zeitverhalten des Feldstärkevektors

Anhand des ebenen Feldes soll die unterschiedliche analytische Beschreibung der Feldstärke E als Funktion der Zeit für das Feld eines einphasigen und mehrphasigen EEÜS dargestellt werden. Ausgangspunkt für die nachfolgenden Betrachtungen ist das für einen beliebigen Aufpunkt $P(x, y)$ ermittelte komplexe Potential $\underline{\varphi}_p$ (vgl. Abschn. 1.1.). Die partielle Ableitung des komplexen Potentials nach der x- bzw. y-Koordinate stellt die horizontale bzw. verti-

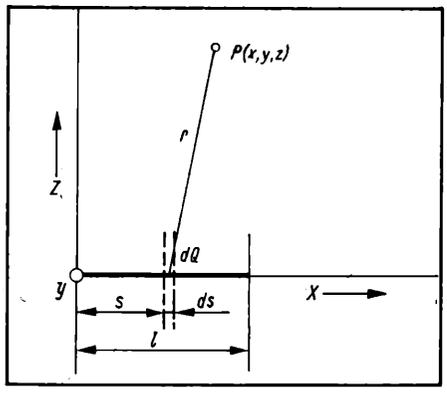


Bild 3. Linienladungsabschnitt

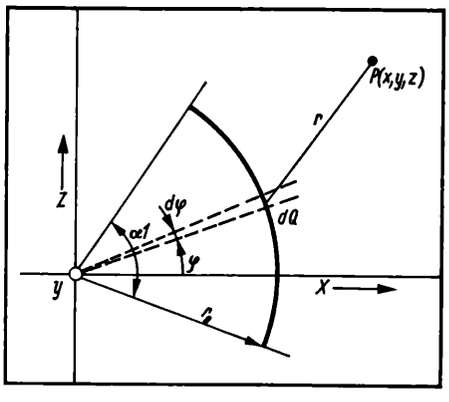


Bild 4. Ringsegmentladung

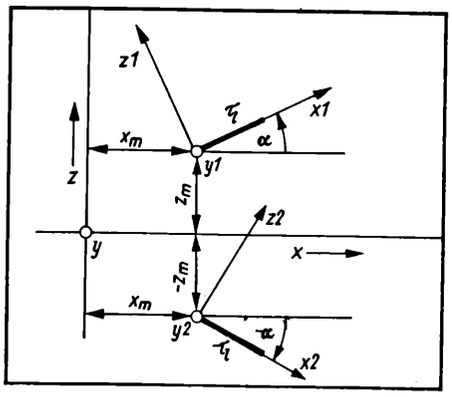


Bild 5. Koordinatentransformationen in der x-z-Ebene

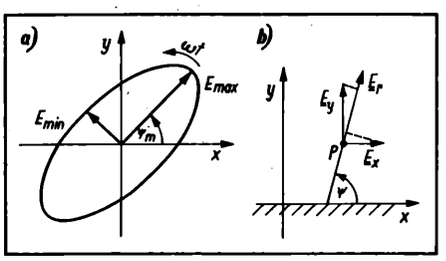


Bild 6. Beschreibungdes E-Vektors bei Mehrphasensystemen

kale Komponente des resultierenden Feldstärkevektors $\underline{E}(x, y)$ dar:

$$\underline{E}_x = -\operatorname{grad}_x \underline{\varphi}, \tag{10}$$

$$\underline{E}_y = -\operatorname{grad}_y \underline{\varphi}. \tag{11}$$

Für einphasige Systeme sind die Phasenwinkel von $\underline{E}_x$ und $\underline{E}_y$ gleich ($\Phi_x = \Phi_y$), so daß sich der Effektivwert der resultierenden Feldstärke im betrachteten Aufpunkt aus der geometrischen Addition der Effektivwerte der horizontalen und vertikalen Feldstärkekomponenten ergibt:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \tag{12}$$

und der Raumwinkel

$$\gamma = \arctan\left(\frac{E_y}{E_x}\right). \tag{13}$$

Eine einphasige Quelle erzeugt somit in einem beliebigen Aufpunkt $P(x, y)$ einen Feldstärkevektor, der entlang einer festen Achse oszilliert.

Für den Fall eines Mehrphasensystems ist die Bedingung $\Phi_x = \Phi_y$ nicht in beliebigen Aufpunkten erfüllt. So wird die Feldstruktur einer Drehstromfreileitung nicht allein durch die Anordnung der Leiter zueinander und gegenüber der Erdoberfläche bestimmt, sondern sie variiert über eine Periodendauer der Netzspannung, d.h. in allen Punkten ändert sich sowohl die Richtung als auch der Betrag der Feldstärke. In [5] wurden dazu umfangreiche Untersuchungen angestellt. Allgemein beschreibt die Spitze des Feldstärkevektors in einem Aufpunkt $P(x, y)$ über die Dauer einer Periode eine Ellipse (Bild 6a). Aus den Größen E_x, Φ_x und E_y, Φ_y können die Werte für $E_{\min}$ (kleine Halbachse der Ellipse, s. Bild 6a), $E_{\max}$ (große Halbachse der Ellipse) und der Winkel φ_m, den $E_{\max}$ mit der x-Achse des Koordinatensystems bildet, bestimmt werden. Zur analytischen Beschreibung wurde die in [6] aufgezeigte Darstellungsform des resultierenden Feldstärkevektors (Bild 6b) gewählt:

$$\begin{aligned}\underline{E}_r &= E_r \cdot e^{j\Phi r},\\ &= (E_x \cos\Phi_x \cos\varphi + E_y \cos\Phi_y \sin\varphi)\\ &\quad + j\,(E_x \sin\Phi_x \cos\varphi + E_y \sin\Phi_y \sin\varphi),\end{aligned} \tag{14}$$

mit

$$E_r = [E_x^2 \cos^2\varphi + E_y^2 \sin^2\varphi + E_x E_y \sin 2\varphi \cos(\Phi_x - \Phi_y)]^{1/2}. \tag{15}$$

Die Richtungen der Extremwerte $E_{\max}$ und $E_{\min}$ leiten sich aus

$$\frac{\partial E_r}{\partial} \stackrel{!}{=} 0.$$

ab.

Für den Fall $E_x \neq E_y$ gilt

$$\tan 2\varphi_m = \frac{2 E_x E_y \cos(\Phi_x - \Phi_y)}{E_x^2 - E_y^2}. \tag{16}$$

Gleichung (16) liefert die Winkel φ m 1 und φ m 2, die sich um PI/2 unterscheiden. Nachfolgend soll die Zuordnung zu den Extremwerten erfolgen. Nach Einsetzen von (16) in (15) ergibt sich durch Umformung

$$E_r = \left[\frac{1}{2}(E_x^2 + E_y^2) + \frac{1}{2}(E_x^2 - E_y^2)\,\frac{1}{\cos 2\varphi\,\mathrm{m}}\right]^{1/2}. \tag{17}$$

Gleichung (16) läßt sich in die Form

$$\cos 2\varphi_m = \pm\frac{E_x^2 - E_y^2}{[(E_x^2 + E_y^2)^2 - 4 E_x^2 E_y^2 \sin^2(\Phi_x - \Phi_y)]^{1/2}} \tag{18}$$

verwandeln und in (17) einsetzen:

$$E_{\min}^{\max} = \left[\frac{1}{2}(E_x^2 + E_y^2) \pm \frac{1}{2}\sqrt{(E_x^2 + E_y^2)^2 - 4 E_x^2 E_y^2 \sin^2(\Phi_x - \Phi_y)}\right]^{1/2}. \tag{19}$$

Aus (17) leitet sich die Bedingung

$$\operatorname{sign}(\cos 2\varphi_{\max}) \stackrel{!}{=} \operatorname{sign}(E_x^2 - E_y^2) \tag{20}$$

ab. Gilt $E_x = E_y$ und $\operatorname{sign}[\cos(\Phi x - \Phi y)] = 1$, dann ist φ max = PI/4 und φ min = 3 PI/4.

Gleichung (19) ermöglicht anschaulich die Unterschiede zu den mit (12) berechneten Werten zu diskutieren. Für den Fall $\Phi_x = \Phi_y$ geht (19) in (12) über. Bei Ungleichheit der Phasenwinkel Φ_x und Φ_y sind die nach (19) ermittelten Werte für $E_{\max}$ stets kleiner als die durch geometrische Addition gewonnenen Werte nach (12). Die maximale Abweichung tritt bei $(\Phi x - \Phi y) = \mathrm{PI}/2$ bzw. für 3 PI/2 auf. Ist zusätzlich die Bedingung $E_r = E_x = E_y$ erfüllt, so sind die nach (12) berechneten Werte um das $\sqrt{2}$-fache größer als die Werte für $E_{\max}$ nach (19).

2. Ausblick

Auf der Grundlage der im Abschn. 1.1. beschriebenen Modellvorstellungen wurden Feldberechnungsprogramme in Turbo-Pascal auf einem CP/M-kompatiblen Rechner implementiert. Die Programme sind so angelegt, daß berechnete Kurvenverläufe [z.B. $E = f(x)$ bzw. $E = f(y)$] auf Diskette gespeichert werden und jederzeit über Bildschirm oder Drucker reproduzierbar sind.

Schwerpunkt für die zukünftige Arbeit bildet die Erstellung eines Programms zur 3-dimensionalen Feldberechnung. Angestrebt wird die Implementation auf einem MS/DOS-kompatiblen Rechner. Diese feldtheoretischen Untersuchungen bilden die Grundlage für die quantitative Bewertung ausgewählter Einflußfaktoren auf die Struktur des elektrischen Feldes sowie den Betrag der Feldstärke E. Entsprechend der eingangs formulierten Aufgabenstellung ist ein weiterer Aspekt die Gewinnung einer Signalgröße (bzw. Verknüpfung von Signalgrößen) aus dem elektrischen Wechselfeld zur Bestimmung der Spannungsebene in Verbindung mit der Abstandsbestimmung zu den Leiterseilen. Parallel zu diesen theoretischen Untersuchungen werden praktische Messungen an einem maßstäblichen Modell bzw. an realen Anordnungen vorgenommen.

Literatur

[1] *Philippow, E.:* Grundlagen der Elektrotechnik. Berlin: VEB Verlag Technik, 1988

[2] *Singer, H.; Steinbigler, H.; Weiss, P.:* A charge simulation method for the calculation of highvoltage fields. IEEE Trans. on PAS 73 (1974) S. 1660–1668

[3] *Kolechitsky, E. S.:* Rasczet elektriczeskich polej ustroistv vysokoyv naprjazsenja. Moskau: Energoatomizdat 1983

[4] *Utmischi, D.:* Berechnung dreidimensionaler Hochspannungsfelder. etz-a, Bd. 99 (1978) 2, S. 83–86

[5] *Konorski, B.:* Berechnungen zur Formbestimmung des elektrischen Feldes einer Drehstromleitung. Archiv für Elektrotechnik 54 (1971) 3, S. 177–186

[6] *Kaz, R. A.; Perelman, L. S.:* Rasczet elektriczeskovo polja trechphasnoi linii elektroperedaczi. Elektriczestvo (1978) 1, S. 16–19

EA 6023

Nachruf für Prof. Dr.-Ing. Horst Peschel

Im Alter von 70 Jahren verstarb am 11. April 1989 der Ehrenpräsident unserer sozialistischen Ingenieurorganisation, Prof. Dr.-Ing. *Horst Peschel*. Mit ihm verliert die Deutsche Demokratische Republik einen hervorragenden Wissenschaftler, der als Forscher und Hochschullehrer sowie in verantwortlichen gesellschaftlichen Funktionen aktiv für das Wachsen und Gedeihen unseres Arbeiter-und-Bauern-Staates gewirkt hat. In seiner langjährigen Tätigkeit als Präsident und Ehrenpräsident der Kammer der Technik trug er persönlich in überzeugender Weise zur Entwicklung und Vertiefung der sozialistischen Gemeinschafts- und Bildungsarbeit der Arbeiter, Wissenschaftler und Ingenieure bei.

Im Jahre 1948 trat *Horst Peschel* der zwei Jahre zuvor gegründeten Kammer der Technik bei. Er setzte sich sofort mit großer Aktivität für die Entwicklung der Gemeinschaftsarbeit auf seinem Fachgebiet, der Geodäsie, ein und war maßgeblich an der Bildung der Hochschulsektion der Kammer der Technik der damaligen Technischen Hochschule Dresden beteiligt. Immer war ihm die Förderung des naturwissenschaftlichen und technischen Nachwuchses ein persönliches Anliegen. Er verstand es, seine berufliche Tätigkeit fruchtbringend mit der sozialistischen Gemeinschaftsarbeit in der KDT zu verbinden. So erwarb er sich die Achtung und Anerkennung tausender Mitglieder unserer Ingenieurorganisation. 1955 wurde er ins Präsidium der KDT gewählt, auf dem 2. Kongreß der Kammer der Technik erhielt er im Januar 1959 das Vertrauen als Präsident der Kammer der Technik. 15 Jahre lang nahm er dieses hohe Amt wahr. Während dieser Zeit prägte er einen wesentlichen Entwicklungsabschnitt unserer sozialistischen Ingenieurorganisation. *Horst Peschel* war leidenschaftlicher Verfechter einer engen Verbindung von Wissenschaft und Produktion. Die Bildung der Betriebssektionen ist dafür ein typisches Beispiel. Sie vervielfachten die Leistungskraft der Organisation.

Horst Peschel stellte sein Leben voll und ganz in den Dienst der sozialistischen Gesellschaft. Er wußte die Unterstützung und Förderung durch die Partei der Arbeiterklasse sehr zu schätzen und entwickelte mit den Kommunisten, den Mitgliedern der anderen Blockparteien und den parteilosen Mitgliedern unserer Ingenieurorganisation eine konstruktive, auf die Lösung der Aufgaben gerichtete Zusammenarbeit.

1976, auf dem 6. Kongreß der Kammer der Technik, legte *Horst Peschel* das Amt des Präsidenten in die Hände eines Jüngeren. Die Ehrenpräsidentenschaft, die ihm auf diesem Kongreß verliehen wurde, nahm er mit Herz und großer Aktivität bis zuletzt wahr. Er wird all denen, die ihn kannten, als ein Mensch mit tiefer Herzenswärme, Anteilnahme, Aufgeschlossenheit und großem Optimismus in Erinnerung bleiben. Er wurde auch deshalb geschätzt, weil er keine Schmeicheleien erwartete, sondern immer einen klaren Standpunkt, Sachkenntnis und Kompetenz vertrat. So wie er an sich selbst höchste Forderungen stellte, verlangte er auch von anderen Leidenschaft und vollen persönlichen Einsatz. Stets ging es ihm um die Sache, um die Lösung der Aufgaben.

Sein verdienstvolles Wirken wurde mit höchsten Ehrungen anerkannt. *Horst Peschel* wurde unter anderem mit dem Nationalpreis, dem Vaterländischen Verdienstorden, dem Orden Banner der Arbeit sowie als Verdienter Techniker des Volkes ausgezeichnet. Die Kammer der Technik dankte ihm für sein Wirken mit der Ernst-Abbe-Medaille, der Goldenen Ehrennadel und anderen Auszeichnungen.

Das politische Engagement *Horst Peschels* für die Entwicklung von Forschung und Technik, sein rastloser Fleiß und sein hohes gesellschaftliches Verantwortungsbewußtsein ließen ihn zu einem Vorbild für viele Wissenschaftler, Ingenieure und Studenten, für viele Mitglieder der Kammer der Technik werden.

Alles für das Wohl des Volkes und für die Festigung des Friedens zu tun, bestimmte sein Handeln. Sein unermüdliches Wirken und seine unvergessenen Leistungen werden in unser aller Erinnerung fortleben.

Präsidium der Kammer der Technik

EA 3999

FACHTAGUNGEN

Arbeitstagung „Modellbildung, Kennwertermittlung und Simulation elektrohydraulischer Antriebe"

Im Adolf-Ferdinand-Weinhold-Bau der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt fand am 2. März 1989 eine DDR-offene Arbeitstagung zu Fragen der Projektierung elektrohydraulischer Antriebe statt. Gastgeber war der Wissenschaftsbereich Regelungs- und Automatisierungstechnik. Neben den beiden anderen Veranstaltungsträgern, Technische Universität Dresden und VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik Leipzig, waren Gäste interessierter Anwenderbetriebe, wie beispielsweise Kombinat Umformtechnik Erfurt und Werkzeugmaschinenfabrik VOGTLAND Plauen anwesend.

In seinem einleitenden Vortrag sprach Sektionsdirektor Prof. *Wächter*, TU Karl-Marx-Stadt, über die grundlegenden Aufgaben im Projektierungsprozeß sowie den Algorithmus für die Projektierung elektrohydraulischer Antriebe. Dipl.-Ing. *Enge* stellte das an der TU Karl-Marx-Stadt entwickelte Simulationssystem „SIM 16" vor. Dipl.-Ing. *Weber* erläuterte das Grundkonzept der Modellbildung und Simulation an der TU Dresden.

Eine Vielzahl von Diskussionsbeiträgen belebte die insgesamt sehr interessante und gelungene Veranstaltung. Es wurde festgestellt, daß neben der Modellbildung in Zukunft insbesondere die Kennwertermittlung für hydraulische und mechanische Geräte vorangetrieben werden muß, um die Projektierung von elektrohydraulischen Antrieben mit einer durchgehenden Rechnerunterstützung effektivieren zu können.

Die nächste Arbeitstagung zu diesem Problemkreis wird im Februar/März 1990 im VEB Kombinat ORSTA-Hydraulik Leipzig stattfinden.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 3077

Parameterempfindlichkeit des Simulationsprogramms SISTRA für frequenzumrichtergespeiste Asynchronmaschinen

145. Sektionskolloquium Automatisierungstechnik der Technischen Universität Karl-Marx-Stadt am 27. April 1989

Das von Dipl.-Ing. *R. Werner*, wissenschaftlicher Assistent an der Sektion Automatisierungstechnik der TU Karl-Marx-Stadt, im Rahmen seines Forschungsstudiums erarbeitete Programmsystem SISTRA dient der Simulation des Verhaltens von Stromrichtern und Asynchronmaschinen. Voraussetzung für die Erzielung guter Betriebseigenschaften eines derartigen Antriebes ist eine präzise Abstimmung der Systemkomponenten (von Netzgleichrichtern über Wechselrichter, Regler und Motor bis hin zum mechanischen System) aufeinander. Den Ausführungen des Referenten bezüglich Modellierung des Drehstromasynchronmotors und zu Aspekten der Parameterempfindlichkeit folgten einige Anregungen zur Nutzung des Programmsystems über den ursprünglich vorgesehenen Rahmen hinaus.

Auf Grund der nichtlinearen Effekte

- Stromverdrängung und
- Sättigungseffekte im Eisen (Hauptfeld-Streufeld-Sättigung)

wurden, abgeleitet aus den Maxwellschen Gleichungen, die mathematischen Verfahren für eine schichtweise Stromberechnung in der Nut dargelegt. Da eine hohe Genauigkeit von entsprechend großer Schichtenanzahl abhängig ist, wodurch die Rechenzeit jedoch erheblich steigt, mußte ein sinnvoller Kompromiß gefunden werden. Hinsichtlich der Wahl der Schichtdicken,

a) gleiche Schichtdicken oder
b) geometrisch gestufte Schichtdicken (zum Nutkopf hin kleiner werdend),

lieferte die Variante b) geringere relative Fehler, wobei gleichzeitig erkannt wurde, daß eine Frequenzabhängigkeit des Fehlers vorhanden ist. Entsprechende Optimierungsuntersuchungen zeigten, daß für eine konkret ausgewählte Nutform bei

— $f_{2max} = 50$ Hz und der Wahl von nur drei Schichten ein Fehler unter 3% zu verzeichnen ist und
— $f_{2max} = 1000$ Hz mindestens neun Schichten erforderlich sind, um beim Fehler unter 3% zu bleiben.

Grundvoraussetzung bei diesen Berechnungen ist jedoch eine möglichst genaue Abbildung der Nutgeometrie. Es wurden Untersuchungsergebnisse in Form von Leerhochlaufkurven mit Sonderläufern, d.h. unterschiedlichen Nutformen, wie Trapezstabläufer, Hochstabläufer, Doppelstabläufer, Hochstabläufer mit Widerstandsmaterial vorgestellt und diskutiert. Im weiteren wies der Referent auf die Problematik der Erfassung von Sättigungseffekten sowie die Ab-

hängigkeit der Induktivitäten, die unter Nutzung des Programmpakets FELD ermittelt wurden, hin. Am Beispiel einer 400-kW-Maschine konnte durch experimentellen Nachweis der als repräsentiv für verschiedenartige Vorgänge geltenden Hochlaufkurve die gute Übereinstimmung von Simulationsergebnissen mit experimentell durchgeführten Messungen aufgezeigt werden. Zu beachten ist, daß die Genauigkeit der Rechenergebnisse von der Präzision der Eingabewerte abhängig ist und eine Änderung des Läuferwiderstandes relativ großen Einfluß auf die Hochlaufkurven hat. Der bedeutende Einfluß von Betriebsspannungsschwankungen war aus den Simulationsergebnissen klar erkennbar. In enger Zusammenarbeit mit der Sektion Mathematik der TU Karl-Marx-Stadt konnte durch Anwendung eines halbimpliziten Integrationsverfahrens gegenüber dem üblichen Runge-Kutta-Verfahren unter Anwendung einer speziellen Schrittweitensteuerung eine wesentliche Verkürzung der Rechenzeiten erzielt werden. Es wurden verschiedene Programmvarianten (ASMSN/ASMSNW/ASMWR/ASMWRW) mit einem Speicherplatzbedarf von je etwa 100 kByte unter Verwendung der Programmiersprache FORTRAN erstellt. Damit wird sowohl eine Simulation der Asynchronmaschine am sinusförmigen Netz als auch am dreiphasigen Spannungszwischenkreiswechselrichter ohne oder mit Berücksichtigung der Maschinenerwärmung ermöglicht.
Abschließend gab der Referent Empfehlungen für die zu verwendende Rechentechnik, z. B. ESER 1056.

G. Tippmann, Karl-Marx-Stadt EA 4002

Elektronik in der Elektrotechnik der chemischen Industrie

Am 19. April 1989 führte der FA Elektrotechnik im FV Chemische Technik gemeinsam mit der Betriebssektion der KDT im VEB Starkstromanlagenbau Leipzig/Halle in Halle seine 8. Fachtagung durch. Sie befaßte sich mit den Möglichkeiten, die die Elektronik für die elektrotechnischen Anlagen der chemischen Industrie bietet und den Problemen, die mit einem verstärkten Einsatz derartiger Anlagen verbunden sind.
Prof. Dr. sc. techn. *Mierke*, TH Leipzig, stellte in seinem Einführungsvortrag die Tendenzen der Elektroantriebstechnik unter dem Einfluß der Entwicklung von Leistungselektronik und Mikroelektronik dar. Für die Automatisierung von elektrischen Antrieben wurden folgende Anforderungen herausgestellt:

— Erhöhung der Qualität der zur Verfügung zu stellenden mechanischen Energie
— ökonomische Verwertung der verbrauchten Elektroenergie vor allem bei Übergangsvorgängen
— möglichst geringe Beanspruchung des mechanischen Systems bei Übergangsvorgängen
— höhere Qualität des Überlastschutzes.

Ausgehend von diesen Forderungen wurden die Möglichkeiten aufgezeigt, die Leistungs- und Mikroelektronik bei der Realisierung moderner Antriebskonzeptionen derzeit bieten. Dabei wurde sowohl die weitere Verbesserung der schon sehr entwickelten Gleichstromantriebstechnik als auch der verstärkte Trend zum Einsatz von geregelten Drehstromantrieben auf der Basis von Asynchron- als auch Synchronmotoren dargestellt. Bei allen technischen Möglichkeiten der Verbesserung der Antriebssysteme hat der richtig dimensionierte Antriebsmotor nach wie vor erstrangige Bedeutung. Die Projektierung der Antriebssysteme selbst wird zur Erzielung optimaler Lösungen rechnergestützt durchgeführt werden müssen. Dazu gibt es von der Herstellerindustrie erste Ansätze.

Aufbauend auf den im Einführungsvortrag dargestellten Anforderungen legte Dr. sc. techn. *Amft*, TU Karl-Marx-Stadt, die Probleme bei der Entwicklung und dem Einsatz eines elektronischen Motorschutzrelais (EMR) dar. Ausgehend von über Wandler gewonnene Stromsignale wurden die unterschiedlichen Lösungsvarianten, unter anderem im Signalverarbeitungsteil, vorgestellt. Für die Gestaltung des thermischen Motorabbildes im Schutzgerät werden analoge und digitale Schaltungen benutzt; der Einsatz eines Einchipmikrorechners im Relais ermöglicht eine individuelle Anpassung an den Motor. Die Schutzcharakteristiken von Thermobimetallrelais und EMR wurden interpretiert und gezeigt, daß zum richtigen Einstellen des EMR noch zusätzliche Angaben vom Motorhersteller erforderlich sind. Dr. *Amft* zeigte noch Möglichkeiten der Motordiagnose während des Betriebes auf, die durch den gewachsenen Aufwand für die Schutztechnik diskutabel werden. In der Diskussion zu diesem Vortrag wurde vor allem auf den in Chemiebetrieben sehr häufigen Betrieb von Ex/e-Motoren und deren Schutzproblematik hingewiesen. Hierzu lagen noch keine Erkenntnisse vor.

Über Einsatzprobleme elektronischer Antriebssteuerungen berichtete Dipl.-Ing. *Lorenz*, VEB Starkstromanlagenbau Leipzig/Halle.

Ausgehend von der historischen Entwicklung derartiger Steuerungen mit den Systemen ursalog 4000 und PS 2000 wurde der derzeitige und zukünftige Stand mit den Systemen S 2000-S, MRS 704/705 und SPS 7000 dargestellt. Da kein durchgängiges System einer elektronischen Steuerung für Industrieanlagen existierte, mußten die teilweise für Maschinensteuerungen entwickelten Systeme modifiziert und erweitert werden. Die Elemente einer Motorsteuerung mußten durch eine Vielzahl von Einzelkarten aufgebaut werden, die Notwendigkeit einer hochintegrierten Motorsteuerkarte wurde offensichtlich. Mit der neuen NS-Schaltanlage VESA stat wird mit den Koppelbausteinen der Einsatz elektronischer Steuerungen möglich. Vom FA Elektrotechnik im FV Chemische Technik wurde bereits eine Entwicklungsforderung an den Starkstromanlagenbau gestellt. Besondere Aufmerksamkeit ist bei derartigen Anlagen den Problemen der elektromagnetischen Verträglichkeit zu schenken. Hingewiesen wurde in diesem Zusammenhang auf den durchgängigen Störschutz aller Leistungsschaltglieder, den sorgfältigen Potentialausgleich, geschirmte Steuer- und Signalkabel bei gemeinsamer Legung mit Leistungskabeln, ein separates Netz für die Automatisierungsanlage und den Einbau von Netzfiltern in den Stromversorgungsschränken.

Dipl.-Ing. *Morbitzer*, VEB PCK Schwedt, Kombinatsbetrieb Böhlen, berichtete über den Rechnereinsatz bei der Instandhaltung von elektrotechnischen Anlagen. Mit Hilfe eines dialogorientierten Systems, das die Anwendung der zentralen und dezentralen Rechentechnik vorsieht, wird eine zustandsorientierte Instandhaltung angestrebt. Vorgestellt wurden die dazu erforderlichen Dateien, die vorhandenen betrieblichen Strukturen und die Möglichkeiten, die derartige Systeme für Zustandserfassung der Anlagen und Vorbereitung von Instandhaltungsmaßnahmen bieten.
Am Beispiel einer modernen chemischen Großanlage wurden von Dipl.-Ing. *Simon*, VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht", die Probleme der Hilfsenergieversorgung für elektronische Anlagen dargelegt.
Rechnergestützte Systeme zur Meßwerterfassung und -verarbeitung, zur Prozeßführung und Steuerung stellen hohe Anforderungen an die Hilfsenergieversorgung. So beträgt die zulässige Unterbrechungsdauer für einige Anlagenteile nur 2 s, so daß an die Prozeßführung, in die 500 Antriebe und über 6000 Meßstellen einbezogen sind, hohe Zuverlässigkeitsforderungen gestellt werden. Nach Darstellung des Netzaufbaus der Hilfsenergieversorgung (24 V Gs und gesicherte 220 V Ws mit zugehörigen unterbrechungsfreien Stromversorgungs-Anlagen) wurde über Projektierung, Inbetriebnahme und Betrieb berichtet. Es wurde gezeigt, wie sorgfältig derartige Anlagen auf die Belange des Gesamtsystems abgestimmt sein müssen und welche Bedeutung dieser Teilkomplex für eine sichere Betriebsführung hat. Diese wachsende Bedeutung wurde von Dipl.-Ing. *Klook*, VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin, unterstrichen, der die unterbrechungsfreie Stromversorgung (SUSV) DDK 380/... DES seines Betriebes vorstellte. Diese Typenreihe umfaßt drei Baugrößen mit einer Ausgangsleistung von 10 kVA, 25 kVA und 63 kVA. Durch Parallelschaltung (bis zu drei SUSV) lassen sich Stromversorgungsanlagen in einem Leistungsbereich von 10 bis 144 kVA realisieren.
Als Beispiel der Zusammenarbeit zwischen Hochschule und Industrie (CKB Bitterfeld) wurde von Dipl.-Ing. *Hanf*, TH Ilmenau, über die Entwicklung des digitalen Störschreibers STS1 berichtet. Dieser Störschreiber ist ein mikrorechnergesteuertes Meßwerterfassungssystem. Er besteht aus einer Mastereinheit und bis zu vier Slaveeinheiten mit je einem Steuerrechner. Durch diskettenorientierte Fahrweise ist hohe Flexibilität und einfache Archivierung der Meßwerte garantiert. Die intensive Praxiserprobung muß noch erfolgen, ein Hersteller muß noch gefunden werden.
In seinem Schlußwort stellte der Vorsitzende des FA Elektrotechnik, Dipl.-Ing. *Hoop*, fest, daß die Themenwahl der diesjährigen Fachtagung die Zustimmung der anwesenden Fachkollegen gefunden hat.

K.-D. Germer, Leuna EA 4021

PATENTE

Verfahren zur Synchronisation der Ansteuerung eines Pulswechselrichters

DD-WP: 264560
Int.-Cl.: H 02 M 7/527
Anmeldetag: 18. 09. 87
Anmelder: VEB Elektroprojekt und Anlagenbau Berlin

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Bestimmung der Abtastzeiten eines digitalen Ansteuerautomaten zu schaffen, das die Voraussetzung zur On-line-Berechnung der Einschaltzeiten von Schaltzuständen darstellt und eine synchrone Pulsung der Ausgangsspannung eines Wechselrichters zuläßt.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Abtastzeit t_{ab} geregelt wird, indem in einer Summierstelle die Differenz aus Soll- und Istwinkel des Spannungsraumzeigers gebildet wird. Der Istwinkel wird von einer vorgelagerten Regeleinrichtung bereitgestellt und die Differenz auf einen Regler geleitet, dem eine Minimalwertbegrenzung nachgeordnet ist, so daß an dessen Ausgang ein der Abtastzeit t_{ab} äquivalenter Wert entsteht und zur Weiterverarbeitung im digitalen Ansteuerautomaten benutzt werden kann. Dieses Signal wird dann in der Rückführung des Regelkreises, der eine Adaption vornimmt, mit der Frequenz des Spannungsraumzeigers w_u multipliziert. Ein Schaltspiel-Auslastsignal B des Wechselrichters wird durch das entstandene Signal dividiert, so daß das Schaltspielsignal V_Z für eine Periode w_u entsteht. Da dieses Schaltspielsignal V_Z im allgemeinen einen nichtganzzahligen Wert ergibt, wird es mit Hilfe eines hysteresebehafteten Mehrpunktgliedes in das ganzzahlige Schaltspielsignal V_{Z*} für eine Periode umgewandelt. Durch dieses Schaltspielsignal V_{Z*} wird die Größe 2 π geteilt, so daß durch die entstehenden Grenzzyklen des Regelkreises ein ständig wechselndes Winkelinkrement entsteht, das zum Sollwinkel des Spannungsraumzeigers aufsummiert wird.
Zur weiteren Stabilisierung des Regelkreises ist es weiterhin vorteilhaft, ein Dividierglied anzuordnen, in dem das ständig wechselnde Winkelinkrement durch die Abtastzeit t_{ab} dividiert wird und die so entstehende Sollfrequenz w_u des Spannungsraumzeigers in einem Integrator zum Sollwinkel aufsummiert wird.

EA 3053

Phasenanschnittsteuerung für Wechselspannungssteller

DD-WP: 262517
Int.-Cl.: H 02 P 7/622
Anmeldetag: 05. 02. 86
Anmelder: VEB Kombinat TEXTIMA

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schaltungsanordnung zu schaffen, die in universeller Weise, bei minimalem Aufwand von Bauelementen, funktionssicher Zündimpulse zur Ansteuerung von Leistungsschaltgliedern auf Halbleiterbasis erzeugt und bei Inbetriebnahme den Zündimpuls nur dann freigibt, wenn eine mögliche Gefährdung des Anwenders durch falsche Bedienhandlung ausgeschlossen ist.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Bildung symmetrischer Synchronimpulse zum Nulldurchgang der am leistungsschaltenden Halbleiter liegenden Spannung die auf einen gemeinsamen Punkt geführten Eingänge der Synchronisationsstufe betragsmäßig gleiche, jedoch in der Polarität entgegengesetzte Schaltschwellen haben. Der Ausgang dieser Stufe ist sowohl mit einem Anschluß wie auch über ein Koppelglied mit einer Triggerstufe in Verbindung und deren Ausgang ist mit einer Bürde beschaltet, wobei beim ausbleibenden Durchschalten der leistungsschaltenden Halbleiter oder beim Ansteigen der Betriebsspannung diese derart begrenzt wird, daß die Zündimpulse nicht ausreichen, die leistungsschaltenden Halbleiter durchzusteueren und der sich eingestellte Zustand nur durch ein geeignetes Rückkoppeln der Triggerstufe aufhebbar ist. Weitere erfindungsgemäße Ausbildungen der Schaltungsanordnung bestehen darin, daß die Verknüpfungsglieder der Synchronisationsstufe aus einem Antivalenz- bzw. Äquivalenzgatter bestehen, das eine Verknüpfungsglied der Synchronisationsstufe ein Negator und das andere ein NAND- bzw. NOR-Gatter ist, der Sollwertgeber vorzugsweise an die Anschlüsse 25 und 26 gelegt wird und dieser sowohl ein veränderlicher Widerstand als auch eine geeignete Strom- bzw. Spannungsquelle sein kann.
Es ist das Ziel der Erfindung, den Bauelementeaufwand gegenüber bekannten Lösungen von Phasenanschnittsteuerungen zu reduzieren, die Funktionssicherheit zu erhöhen und die Schutzgüte der angesteuerten Leistungssteller zu verbessern.

EA 3052

Verfahren zur Herstellung von Wickeldrähten

DD-WP: 264779
Int.-Cl.: H 01 B 13/08
Anmeldetag: 27. 10. 87
Anmelder: Kombinat VEB Kabelwerk Oberspree „Wilhelm Pieck", Berlin

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem Folienbänder, insbesondere Folienglimmerbänder, als relativ dünne, glatte, homogene, innig verbundene Isolierung ohne Mikrorisse, die hohen elektrischen und mechanischen Beanspruchungen standhält, aufgebracht werden kann.
Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Folienglimmerband mit einer definierten Bandspannung von 20 N bis 25 N und einer Mindestbandbreite von 8 mm auf den elektrischen Leiter aufläuft, wobei bei Verwendung von Folienglimmerbändern mit ungenügender Flexibilität der elektrischen Leiter und das Folienglimmerband gleichzeitig unmittelbar vor dem Auflaufpunkt auf den elektrischen Leiter auf eine Temperatur von 50 bis 100 °C, vorzugsweise 60 bis 90 °C, erwärmt werden und nachfolgend der umbänderte Leiter eine gekühlte Glättvorrichtung durchläuft.
Nach weiteren Merkmalen wird das Folienglimmerband bei einlagiger Isolierung mit einer Überlappung von 55 bis 65% auf den elektrischen Leiter aufgebracht.
Bei zweilagiger Isolierung wird das Folienglimmerband Stoß an Stoß, jedoch mit einer Versetzung beider Bandlagen zueinander von der Hälfte der Bandbreite auf den elektrischen Leiter aufgebracht.
Bei drei- und mehrlagiger Isolierung wird das Folienglimmerband Stoß an Stoß, mit einer Versetzung benachbarter Bandlagen zueinander, von einem Drittel der Bandbreite aufgebracht.
Das erfindungsgemäße Verfahren gewährleistet das Aufbringen einer glatten, relativ dünnen, homogenen, innig verbundenen Isolierung aus Folienglimmerbändern mit hochwertigen elektrischen Isoliereigenschaften.

D. Ufert, Berlin

EA 3054

DISSERTATIONEN

Zum rechnergestützten Entwurf von Hochspannungsprüfanalgen

Dissertation A, TU Dresden 1988
Von *J. Wolf*

Gutachter
Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Mosch*, TU Dresden
Prof. Dr. sc. techn. *Lämmel*, IH Mittweida
Doz. Dr. sc. techn. *Hauschild*, VEB TuR Dresden

Für den Entwurf von Hochspannungsprüfanlagen werden rechnergestützt Schaltungsentwürfe erarbeitet, um das Betriebsverhalten von Prüfanlagen rationell untersuchen zu können. Mit den in schaltungsabhängige, schaltungsunabhängige und schaltungsabhängige numerische Berechnungen eingeteilten Programmpaketen wird das Betriebsverhalten von Impulsspannungsprüfanlagen (Blitzimpulsspannungen bei kapazitiver und induktiver Last, Schaltimpulsspannung bei kapazitiver Last, oszillierende Spannungen) analysiert. Es gelingt auch, das Verhalten von Wechselspannungs- und Gleichspannungsprüfanlagen sowie von Impulsmeßkreisen und die Prüfung von Metalloxidableitern zu modellieren. Es wurde eine CAD-Insellösung für den Entwurf und die Dokumentation von Widerstandsausrüstungen für Impulsspannungsprüfanlagen erarbeitet und in die Praxis eingeführt.

EA 3026

Zur Diagnose und Schutzkonzeption für elektrotechnische Laboranlagen am Beispiel des Magnetsystems für einen Schwerionenbeschleuniger

Dissertation A, TU Dresden 1988
Von *W. Fricke*

Gutachter
Prof. Dr. sc. techn. *Böhme*, TU Dresden
Prof. Dr. techn. Wiss. *Saranzew*, VIK Dubna, UdSSR
Doz. Dr. sc. techn. *Kunckel*, TU Dresden
Dr. sc. techn. *Haller*, VEB TuR Dresden

Bedingt durch die steigende Energiekonzentration in elektrotechnischen Experi-

mentalanlagen, gewinnen die Fragen der technischen Diagnostik an Bedeutung. Ausgehend von Modellvorstellungen zum Ablauf von Schädigungsprozessen und zur Entstehung von Gefahren, wird ein Algorithmus zur Entwicklung von Diagnose- und Schutzkonzeptionen vorgestellt. Am Beispiel des Magnetsystems für einen Schwerionenbeschleuniger wird die Erarbeitung eines Diagnose- und Schutzsystems demonstriert. Es umfaßt Windungsschlußdiagnose, Ölüberwachung, Diagnose von Leiterverformungen und thermische Überwachung der Magnetspulen. Ein Vorschlag für die technische Realisierung wird angegeben.

EA 3027

Zur zeitweiligen Stromüberlastbarkeit elektrotechnischer Betriebsmittel

Dissertation A, TU Dresden 1988

Von *M. Alicke*

Gutachter

Prof. Dr. sc. techn. *Böhme*, TU Dresden
Prof. Dr.-Ing. habil. *Maksymiuk*, TU Warschau
Dr. sc. techn. *Schwarzer*, VEB „Otto Buchwitz" Starkstrom-Anlagenbau Dresden"
Dr. sc. techn. *Lawrenz*, Institut für Energieversorgung Dresden

Es ist möglich, elektrotechnische Betriebsmittel zeitweilig mit Strömen größer dem Nennstrom zu belasten, ohne daß Grenztemperaturen überschritten werden. Das elektrotechnische Betriebsmittel wird dazu als lineares dynamisches System mit den Eingangsgrößen „Quadrat des Betriebsstromes" und „Umgebungstemperatur" und den Ausgangsgrößen „Übertemperatur ausgewählter Punkte des Betriebsmittels" betrachtet. Der Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen wird durch Gewichtsfunktionen beschrieben. Mit Hilfe der Gewichtsfunktionen ist es möglich, bei bekanntem Verlauf von Betriebsstrom und Umgebungstemperatur in der Vergangenheit die Übertemperatur des Betriebsmittels in der Gegenwart oder den maximal zulässigen Strom — abhängig von der Zeitdauer, in der dieser Strom fließen soll — zu bestimmen.

EA 3028

Zur Gestaltung und zum Betriebsverhalten von Steckverbindungen der Elektroenergietechnik

Dissertation A, TU Dresden 1988

Von *St. Großmann*

Gutachter

Prof. Dr. sc. techn. Böhme, TU Dresden
Prof. Dr. sc. techn. *Müller*, IH Berlin
Dr.-Ing. *Keller*, VEB „Otto Buchwitz" Starkstromanlagenbau Dresden

Steckverbindungen werden in der Elektroenergietechnik für Nennströme von einigen zehn bis 2500 A an Trennstellen und als Montageverbindung eingesetzt. Es wurden Verbindungen mit Kontaktstücken aus versilbertem und unversilbertem Kupfer und Aluminium untersucht. Technische Bewertungskriterien sind der Widerstand im Neuzustand und der Widerstandsverlauf im Langzeitverhalten der Verbindung sowie die Stromaufteilung auf parallele Kontaktstücke. Modellvorstellungen und Experimente (Langzeitteste über mehrere Jahre) ermöglichen Aussagen zum Messen von Widerständen im Mikroohmbereich, zur Gestaltung von Steckverbindungen, zur thermischen und umgebungsbedingten Alterung, zum Verhalten paralleler Kontakte und zum Einsatz von Steckverbindungen.

EA 3029

Einfluß der Elektrodentemperatur auf die Durchschlagspannung koaxialer SF_6-Isolierungen

Dissertation A, TU Dresden 1988

Von *L. Iwanow*

Gutachter

Prof. Dr. sc. techn. *Böhme*, TU Dresden
Dr.-Ing. *Jahn*, VEB TuR Dresden
Dr.-Ing. *Sieber*, VEB „Otto Buchwitz" Starkstromanlagenbau Dresden

Es wird der Einfluß der betriebsbedingt erhöhten Temperatur der Elektroden (bis 200 °C) auf die Durchschlagspannung von koaxialen SF_6-Isolierungen untersucht. Einflußparameter sind: Isoliergasdruck (bis 0,4 MPa), Elektrodenrauhigkeit, ortsfeste Störstellen und Radienverhältnis. Ein Modell zur Zündung von Entladungen innerhalb der Temperaturgrenzschicht und zur Entladungsausbreitung wird entwickelt. Damit ist es möglich, für SF_6-Isolierungen die komplexe Belastung durch Strom und Spannung auf die Anfangs- und Durchschlagspannung zu bewerten.

EA 3030

Zum Einfluß der Vernetzung und erhöhter Temperatur auf die Lebensdauer von Polyethylenisolierungen bei Wechselspannungsbelastung

Dissertation A, TU Dresden 1988

Von *Chr. Scharff*

Gutachter

Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h. c. *Mosch*, TU Dresden
Doz. Dr. sc. techn. *Eberhardt*, TU Dresden
Dr.-Ing. *Flügge*, VEB Kombinat KWO
Dr. rer. nat. *Wagner*, AdW Dresden

Mit Hilfe von Untersuchungen an PE-Modellanordnungen (PE-Spitze-Platte-Modellprüfkörper, PE-Modellkabel) wird der Einfluß der Vernetzung (Strahlenvernetzung, chemische Vernetzung) und erhöhter Temperatur (90 °C) auf das elektrische Kurz- bzw. Langzeitverhalten der Prüfkörper untersucht sowie anhand von Lebensdaueruntersuchungen an 10-kV-VPE-Starkstromkabeln die Übertragbarkeit auf Starkstromkabelisolierungen geprüft. Weiterhin werden Ergebnisse zum Einfluß einer zyklisch-thermischen Belastung mit Temperaturen bis zu 130 °C über eine Zeitdauer von 1000 h auf VPE-Starkstromkabel und deren Lebensdauer vorgestellt und diskutiert.

W. Mosch, Dresden EA 3031

In der Hochschulbibliothek der Technischen Hochschule Zittau liegen folgende Dissertationen vor:

Sektion Elektroenergieversorgung

Simulation des realen Leistungsschalterverhaltens zur Berechnung innerer Überspannungen

Dissertation A, 1987

Von *L. Muschter*

In der Arbeit wird die Wechselwirkung zwischen Leistungsschalter und angeschlossenem Netz während des Ausschaltvorganges hinsichtlich der Beeinflussung der über den Schalterpolen wiederkehrenden Spannung untersucht. Mit Hilfe eines Modellschalters zur Nachbildung des realen Schaltverhaltens werden zahlreiche Modellschaltungen durchgeführt. Sie ergeben, daß das reale Schaltverhalten bei der Bestimmung der Spannungsbeanspruchung nicht vernachlässigt werden darf. Die Wechselwirkung führt dazu, daß eine reale Ausschaltung höhere Werte der Spannungsbeanspruchung ergeben kann, als die dazu äquivalente ideale Stromunterbrechung. Weiterhin ergibt sich ein bedeutender Einfluß auf das Ausschaltvermögen durch die Netzgestaltung. Die Versuchsergebnisse sind ausführlich beschrieben und ausgewertet.

Auswahl der Leiteranordnung von Hochspannungs-Freileitungen

Dissertation A, 1987

Von *E. Tirsch*

Es wird eine Methodik vorgestellt, mit deren Hilfe auf der Grundlage der vergleichenden Bewertung wesentlicher Eigenschaften eine optimale Leiteranordnung aus einer großen Menge generierter Lösungen ausgewählt werden kann. Für die Quantifizierung der Eigenschaften „Zuverlässigkeit unter dem Aspekt von Luftdurchschlägen bzw. Leiterberührungen bei Seilbewegungen infolge meteorologischer Einflüsse" wird ein Näherungsverfahren auf der Grundlage einer statistischen Analyse der dabei auftretenden Abstände angegeben.

EA 2833

Diplomarbeiten (Auswahl)

Entwicklung eines bürocomputergestützten Teiltrainings „Erdschlußeingrenzung" zum Training der Diensthabenden der Organe der Lastverteilung von Elektroenergie (DA-E-5/88)

Von *M. Kretschmar*

Rechnergestütztes Training von Schalthandlungen (DA-E-57/88)

Von *T. Balla*

Sturm, Zittau EA 2833

BUCHBESPRECHUNGEN

Wellenvorgänge auf Hochspannungsfreileitungen

Von *Ch. Hoy; H. Koettnitz; M. V. Kostenko;* Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 240 Seiten, 117 Bilder, 10 Taf., Leinen 33,— M

Die umfangreiche Monografie behandelt erstmals zusammenfassend auf einheitlicher systemtheoretischer Basis die Modellierung von Freileitungen für stationäre und nichtstationäre Vorgänge. Es erfolgt eine systematische Darstellung der theoretischen Grundlagen für die Beschreibung der Ausbreitungsmechanismen elektromagnetischer Wellen auf Freileitungen.

Im ersten Teil, der die Beschreibung der stationären sinusförmigen Vorgänge auf der Basis der Matrizenalgebra und der Modaltransformation behandelt, wird zunächst besonderer Wert auf eine durchschaubare Ermittlung der Parameter von homogenen Mehrleitersystemen unter Berücksichtigung ihrer Frequenzgänge gelegt. Mit den Ersatzschaltbildern und Beschreibungsgleichungen für Inhomogenitäten können dann reale Leiterkonfigurationen erfaßt und berechnet werden.

Der zweite, wesentlich umfangreichere Teil der Monografie behandelt die Beschreibung der Ausgleichsvorgänge auf Freileitungen, wie sie insbesondere beim Einschalten von Leitungen, beim Blitzeinschlag oder beim Abschalten von Abstandskurzschlüssen auftreten. Der Schwerpunkt liegt auch hier wieder auf der Berücksichtigung der Frequenzgänge in den homogenen Mehrleitersystemen.

Für die Erfassung des Koronaeinflusses auf die Berechnung der Schaltüberspannungen werden verschiedene Modelle und Verfahren dargestellt. Bemerkenswert ist die Entwicklung eines mathematischen Modells für den Blitzkanal, mit dem eine bessere Nachbildung von Einschlagvorgängen möglich ist. In das Gesamtmodell können auch konzentrierte Elemente einbezogen werden. Der Abschnitt schließt mit der Beschreibung und inhaltlichen Verknüpfung der Wanderwellenverfahren von *Bergeron* und *Bewley* ab.

Im dritten Teil der Monografie werden schließlich ausführliche Beispiele für die Anwendung der Wellentheorie dargestellt, die die Leistungsfähigkeit der Verfahren überzeugend demonstrieren (Einschwingspannung nach Abstandskurzschlüssen, Einschaltüberspannungen auf Hochspannungsfreileitungen, Übertragungseigenschaften von Trägerfrequenzstrecken, Blitzüberspannungen auf Leitungen).

Die Monografie stellt in hervorragender Weise theoretische Modelle und Lösungsverfahren für das Gesamtgebiet der Wellenvorgänge auf Freileitungen vor. Auf den Erfahrungen und theoretischen Arbeiten der sowjetischen Schule aufbauend, wurde durch *Hoy* ein geschlossenes Gebäude von Modellen und Verfahren entwickelt und in vielen Richtungen so modifiziert, daß auch reale Leitungskonfigurationen wirklichkeitsnah modelliert und berechnet werden können. Damit stellt das Buch den Höchststand auf diesem Gebiet dar. Es ermöglicht, in einer Reihe von praktisch bedeutungsvollen Aufgaben die bisherigen Näherungen und Abschätzungen durch genauere Verfahren zu ersetzen.

Die methodischen Ansätze sind beispielgebend aufbereitet und damit auch für andere Aufgaben anwendbar.

F. Noack, Ilmenau EA 4013

Optoelektronische Sensorsysteme

Von *D. Schmidt* und *W. Schwarz*. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 80 Seiten; 42 Bilder, 9 Tafeln, Paperback, DDR 4,50 M

Optoelektronische Sensoren sind in den letzten Jahren unentbehrlich für die Automatisierung von Prüf- und Überwachungsprozessen geworden. Die visuellen Fähigkeiten des Menschen können im Produktionsprozeß durch die Verbindung optoelektronischer Sensoren mit der Mikrorechentechnik in wachsendem Maße ersetzt werden. Eine effektive Anwendung solcher Systeme erfordert jedoch Kenntnisse über ihren grundsätzlichen Aufbau und die Funktionsweise.

Die vorliegende Broschüre gibt einen solchen Überblick über visuelle Sensorsysteme von einfachen Lichtschranken bis zum digitalen Bilderfassungssystem. Darüber hinaus werden wertvolle Hinweise zum Entwurf für den jeweiligen Anwendungsfall optimaler Sensorsysteme gegeben und an Hand von vielen Beispielen aus der Praxis erläutert.

Hauptabschnitte
Optoelektronische Sensorsysteme — eine neue Qualität
Aufbau und Wirkungsweise von visuellen Sensorsystemen
Informationsverarbeitung
Gestaltung der Software
Entwurf und Aufbau von visuellen Sensorsystemen
Einsatzbeispiele.

Die Broschüre ist besonders Neuerern, Rationalisatoren, Technologen und Konstrukteuren automatisierter Fertigungsanlagen zu empfehlen.

H.-J. Melhardt, Dresden EA 3079

TURBO-PASCAL

Das Kompendium für die Programmierpraxis

Von *H.-G. Joepgen*. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1988. 2. neubearbeitete und erweiterte Auflage, 467 Seiten.

Der Autor stellt die Kernsprache von TURBO-PASCAL in den Mittelpunkt seines Lehrtextes. Erfreulich ist die breit angelegte Beschreibung der Struktur der Sprache und ihrer Möglichkeiten. Dabei werden die Unterschiede zwischen den Versionen 3.0 und 4.0 gut herausgearbeitet (Quelltextverträglichkeiten zwischen 3.0 und 4.0). Das beginnt schon damit, daß alle Handgriffe, die man zur Benutzung von TURBO-PASCAL 4.0 braucht, beschrieben werden. Der Autor bedient sich in der Darstellung eines recht burschikosen Tons. Das führt zwangsläufig zu einer zeilenaufwendigen Darstellung, wird aber gewiß einen Leserkreis ansprechen, der an strenge Darstellungen wenig gewöhnt ist. Zum Nachschlagen gut nutzbare Zusammenfassungen finden sich in den Anhängen; besonders nützlich ist die herausnehmbare Arbeitstafel für das Arbeiten am Rechner.

Der Autor polemisiert gegen die übertriebene Verwendung von Anglismen. Obwohl er zum Ausdruck bringt, daß dieseAnglismen hinsichtlich Klarheit und Kürze oftmals besser sind als Eindeutschungen, schlägt er für gängige Fachwörter neue Termini vor. Es bleibt die Frage, ob dem Lernenden das Arbeiten mit Literatur dadurch erleichtert wird.

Die Beispiele sind durchgehend instruktiv und methodisch in dem Sinne gut ausgewählt und aufbereitet, daß sie variiert an verschiedenen Stellen des Buches verwendet werden können. Zu diesem und einem weiteren Buch (für Fortgeschrittene) können 12 Begleitdisketten erworben werden (780.— DM). Im Text wird auf diese Disketten Bezug genommen.

Insgesamt kann das Buch als Zugang zum TURBO-PASCAL-System empfohlen werden.

G. Paulin, Berlin EA 3095

Handbuch — Halbleiterbauelemente

(Gleichrichterdioden, Referenzdioden, Thyristoren)

Von *A. B. Golomedowa* (Hrsg.). Moskau: Verlag Radio 1 swias 1988. Russisch. 528 S.; zahlreiche Bilder. Kunstleder 10,— M

Das vorliegende Handbuch ist eine verdichtete Datenblattsammlung von über 1400 Halbleiterdioden und deren abgeleiteten Typen.

Wie der Untertitel bereits verrät, hat sich der Herausgeber auf die in der breiten Anwendung wichtigsten Klassen beschränken müssen. Das ist kein Nachteil, sondern dient der Informationsbreite und weist darauf hin, über welche Halbleiterdioden man nähere Angaben zu erwarten hat.

Wie es sich für ein geschlossenes Arbeitsmittel gehört, werden in einleitenden Abschnitten Hinweise zum sowjetischen alphanumerischen Kennzeichenschlüssel, zu den verwendeten Abkürzungen zu den grafischen Symbolen und zu den verwendeten nationalen Standards gegeben. Besonderheiten des Einsatzes von Halbleiterdioden in elektronischen Geräten sowjetischer Großserienproduktion werden diskutiert.

Dem Leser wird klassen- und typenbezogen ein ausführliches Material über statische und dynamische Nenn- und Grenzkennwerte, über Vorzugseinsatzgebiete und über Gehäuseformen und Gehäuseabmessungen bereitgestellt. Besonders hilfreich bei der Schaltungsdimensionierung sind die grafisch ausgewiesenen und einsatzbedingten temperatur- und frequenzabhängigen Parameter. Zu bedauern ist, daß die zahlreichen Diagramme infolge des Buchformates etwas zu klein geraten sind. Das bedeutet, daß in einigen Fällen der sowjetische Halbleiterstandard herangezogen werden muß.

Zur Untersetzung des Untertitels sei noch darauf hingewiesen, daß es sich um folgende Klassen von Halbleiterdioden handelt:
— Gleichrichter- und Demodulatordioden
— Gleichrichterstäbe, montierte Gleichrichterblöcke, Matrixanordnungen
— Z-Dioden für allgemeine und spezielle Anwendung mit hoher Präzision
— Begrenzerdioden
— Thyristoren.

Zusammengefaßt ist festzustellen, daß es sich um ein Nachschlagewerk handelt, wie es der praktisch tätige Baugruppenentwickler nicht missen möchte.

G. Turinsky, Karl-Marx-Stadt EA 3078

Angewandte Akustik, Band 1

Von *W. Kraak; G. Schommartz* (Herausgeber) Berlin: VEB Verlag Technik 1988, 284 Seiten, Broschur 35,00 M

Nachdem der VEB Verlag Technik Berlin 1984 mit dem „Taschenbuch Akustik" ein Werk herausgebracht hat, das den gesicherten Wissensstand nahezu der gesamten Akustik und ihre vielfältigen Anwendungen in der Volkswirtschaft darstellt, eröffnete er 1988 dankenswerterweise eine Jahrbuchreihe „Angewandte Akustik", in der neuere Entwicklungen des in rascher Bewegung befindlichen Fachgebiets dargestellt werden. Es ist seit dem Abbruch der Zeitschrift „Hochfrequenztechnik und Elektroakustik" im Jahre 1971 die erste Möglichkeit solcher zusammengefaßter aktueller Äußerungen aus der Akustik in einem DDR-Verlag.

Sie haben teils den Charakter von Übersichten über die neuere Entwicklung größerer Teilgebiete der Akustik, teils sind es Berichte über abgeschlossene größere Forschungsvorhaben immer mit Orientierung auf die große Breite der volkswirtschaftlichen Anwendung. Die Herausgeber sind erfahrene Forscher und Hochschullehrer: Prof. *Kraak*, Dresden, auf solchen Gebieten wie Theoretische Akustik, Signalanalyse, Raumakustik und Gehörschadensforschung; Prof. *Schommartz*, Rostock, auf dem Gebiet Hydroakustik und zugehörige Gerätetechnik. Die 10 Beiträge des 1. Bandes betreffen 2-Mikrofon-Schallintensitäts-Vektormessung, Lautsprecher-Entwicklungsprobleme, Akustik neuer Saalbauten, Schalldämmung von Industriehallen, Akustische Diagnostik in der Kerntechnik und in der Geophysik, Linear-Predictive-Coding-Signaltransformation, Evolutionsstrategie beim Entwurf mikroakustischer Fernseh-ZF-Filter und Lärmgehörschadensforschung.

Die im 1. Band nicht oder nur streifend erfaßten weiteren Gebiete der Akustik, wie automatische Sprachverarbeitung, musikalische Akustik, Hydroakustik, Maschinenakustik, Strömungsakustik und Ultraschall werden in den etwa in Einjahresabstand folgenden Bänden der „Angewandten Akustik" auch Berücksichtigung finden.

Der umgehende restlose Verkauf des 1. Bandes, der mit sehr gut gelungenem Schreibsatz und guter Halbtonbildwiedergabe hergestellt wurde, bestätigt den großen Bedarf bei den Lesern. Der Jahrbuchreihe „Angewandte Akustik" ist eine weite, auch internationale Verbreitung zu wünschen.

W. Schirmer, Dresden EA 3024

Petri-Netze in der Steuerungstechnik

Von *R. König* und *L. Quäck*. Berlin: VEB Verlag Technik 1988. 1. Auflage. 200 Seiten, 226 Bilder, 10 Tafeln. Leinen 28,— M

In Verbindung mit dem aus volkswirtschaftlicher Sicht relevanten Bemühen, den Gesamtprozeß der Projektierung, Errichtung, Inbetriebnahme und Wartung von Automatisierungsanlagen zu effektivieren, hat der formalisierte Entwurf von Steuerungssystemen als günstigere Alternative gegenüber den rein intuitiv ausgerichteten Entwurfsverfahren stark an Bedeutung gewonnen. Eine wesentliche Voraussetzung dazu sind Beschreibungsmittel, die ausgehend von der Struktur des zu steuernden Prozesses eine eindeutige Formulierung der Steuerungsaufgabe sowie deren einfache formale Umsetzung in eine schaltungstechnische Lösung oder in eine programmtechnische Realisierung zulassen. Ein hierfür sehr gut geeignetes, jedoch aus theoretischer Sicht sehr anspruchsvolles und dadurch in der industriellen Entwurfspraxis bislang nur selten angewandtes Darstellungsmittel ist das Petri-Netz. Die Autoren des vorliegenden Buches bemühen sich deshalb darum, dieses leistungsfähige Werkzeug dem Steuerungstechniker nicht aus theoretischer Sicht, sondern anknüpfend an sein prozeßtechnologisches Fachwissen und an seine praktischen Erfahrungen im Entwerfen von Steuerungssystemen zu erschließen. Im übrigen besteht das Gesamtanliegen darin, den Leser möglichst anschaulich soweit in die Netztheorie einzuführen, wie dies für die praktische Verwendung der Netze für Entwurfszwecke und für ein gegebenenfalls selbständig weiterzuführendes Studium der einschlägigen, in der Regel betont stark mathematisch orientierten Petri-Netz-Fachliteratur erforderlich ist.

Im einzelnen werden in insgesamt acht Kapiteln zunächst die Grundbegriffe des Netzkonzepts anschaulich erläutert und daran anschließend ausführlich die Eigenschaften steuerungstechnisch interpretierter und zeitbewerteter Netze dargestellt. Unter Zuhilfenahme vieler instruktiver Beispiele wird im weiteren das Entwurfskonzept entwickelt und gezeigt, wie ein den Steuerungsablauf modellierendes Petri-Netz nach relativ einfachen Regeln in eine verbindungsprogrammierte Hardwarelösung bzw. in eine äquivalente Softwarerealisierung, d.h. in das Anwenderprogramm für eine Mikrorechnersteuerung überführt werden kann. Die unter Verwendung der vorgestellten Entwurfsmethode an einem konkreten technischen Anwenderprojekt erzielten Ergebnisse bilden den Abschluß.

Das Buch wendet sich in erster Linie an die Entwickler industrieller Steuerungen, jedoch auch an Informatiker, Systemtechniker und Studenten, die sich mit der Modellierung, Analyse und Synthese diskreter Systeme und Prozesse befassen. Insgesamt gesehen ist es ein sehr nützliches Handwerkszeug für den genannten Personenkreis. Außer den Grundbegriffen der Elementarmathematik werden keine mathematischen Spezialkenntnisse vorausgesetzt. Es ist jedoch von Vorteil, wenn der Leser über Grundkenntnisse der digitalen Schaltungstechnik sowie über einige praktische Erfahrungen im Entwurf von Steuerungssystemen verfügt.

E. Habiger, Dresden EA 2995

Leistungselektronik: Grundlagen und Anwendungen

Von *R. Jäger*. 3., erw. Auflage. Berlin, Offenbach: vde-Verlag 1988. 403 S., 185 Bilder; 2 Tafeln; 40 Übungsaufgaben mit Lösungen

Das Buch verfolgt das Ziel, Studierenden der Elektrotechnik und Ingenieuren benachbarter Disziplinen den Zugang zum Fachgebiet der energetischen Elektrotechnik zu eröffnen und einen Überblick über Anwendungsmöglichkeiten zu geben. Durch anschauliche und anwendungsorientierte Darstellung sowie zahlreiche durchgerechnete Übungsaufgaben ist es besonders für die Weiterbildung und das Selbststudium geeignet.

Aufbauend auf der Vorstellung der wichtigsten leistungselektronischen Bauelemente, in die abschaltbare Leistungshalbleiter (GTO-Thyristoren, Leistungstransistoren und kombinierte Leistungshalbleiter) eingeschlossen sind, wird deren Betriebsverhalten, Ansteuerung, Beschaltung und Meßtechnik an ausgewählten Beispielen diskutiert. Daran schließt sich eine Übersicht über Stromrichterschaltungen, unterteilt in nichtkommutierende Stromrichter (Schalter und Steller für Wechsel- und Drehstrom), fremdgeführte Stromrichter (Gleich- und netzgelöschte Wechselrichter) und selbstgeführte Stromrichter (Schalter und Steller für Gleichstrom, selbstgelöschte Wechselrichter, Direktumrichter) an. Auf Probleme der Netzrückwirkungen wird gesondert eingegangen. Mit der steigenden Anwendung von abschaltbaren Leistungshalbleitern in fremdgeführten Stromrichtern erscheint die Darstellung von Thyristorschaltungen mit Zwangslöscheinrichtungen überproportioniert. Als Hauptanwendungsgebiet der Leistungselektronik werden abschließend Grundlagen wichtiger Stromrichter-Antriebe (Gleich- und Drehstromantriebe) vermittelt.

H. Conrad, Dresden EA 2996

Bitte erneuern
Sie rechtzeitig Ihr
Abbonnement
für die Fachzeitschrift

ELEKTRIE

damit Sie sich für 1990
wieder den Bezug
aller Ausgaben sichern.

Не забудте заблаговременно
продлить подписку на журнал

ELEKTRIE

на 1990 год,
чтобы исключить перебои в получении
всех номеров журнала
в течение всего года.
Мы рады, что вы и дальше будете
регулярными читателями нашей
публикации.

Please renew your subscription to journal

ELEKTRIE

in time, in order
to provide again the delivery of all issues
of the 1990 volume.
We are glad, that you will belong to the
readers of our periodical
in future, too.

Documentation

Reiche, H.; Vogel, J.

Projecting Software VEM Prodrive for Electric Drives — Result of Scientific Cooperation

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 325–330, 14 Figs., 9 Equations, 18 Refs.

Based on a new thermal model of electric drives designated as two components model, new winding heating calculation routines have been elaborated, which allow to cover any operating conditions. Thus taking into account different ventilation conditions is possible. The VEM Prodrive software package assures wide application and immediate introduction into designing.

Habiger, E.; Hammer, V.

CAD-Based Programming and Operating Memory Programmable Controls on Base of User Oriented Graphical Scientific Input Languages

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 330–332, 5 Figs., 11 Refs.

Today CAD-systems are supporting programming, operating, documenting and pro gramme storing of memory programmable controls (SPS), especially of control families. Starting from the criteria, determining the efficiency, considered under the economical view, a first designing step of such a system is represented, having already proved during industrieal use.

Rothe, K.; Herrmann, H.-J.

Digital Protecting Techniques in the Electric Energy System

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 333–336, 7 Figs., 12 Equations, 12 Refs.

After discussing important effects, reachable with a digital protection, it is introduced into the thinking mode of the discrete signal processing and into the fundamental software structure. The hardware, necessary to realizing that software, is illustrated comprehensively with regard to the important components, the acquisition of the measurement values, the transmitting and the processing of the same.

Fehr mann, R.; Kunke, W.; Neumann, R.

Computer Aided Design and Implementation of Automation Software

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 337–341, 7 Figs., 2 Refs.

The authors present program systems answering the demands of computer aided design and implementation of control software. The two components (binary control design and implementation, digital controller design and implementation) are structured to work out applicable solutions (user programs), to allow preceding simulation on the development system, and to support starting.

Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Tschernenko, P. A.

Pr obabilistic Models for Electric Power System Design and Optimization

E LEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 342–344, 4 Figs., 17 Equations, 13 Refs.

Deterministic, stochastic, and strategic models are applied for monitoring the physical, technical, and economic behaviour of electric power systems in order to desing and optimize them. The authors propose to aim at maximum probability for realization of the relevant economic criteria under the condition that all criteria to be considered should be violated at most by limited probable values.

Schmidt, H.; Beer, F.; Kuhl, J.

Mathematically Modelling the Motion Processes by Means of the Vacuum Contactor EVS

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 344–346, 6 Figs., 17 Equations, 2 Refs.

A mathematical model of computing the static magnetic force, the motion process and the behaviour of the electric quantities in the exciting and the main current circuits of vacuum contactors during switching on and off by means of EDVA (electronic processing units of data) is represented. The results are discussed by means of measurements.

Schult, U,

New Permanently Excited Motor of Low Power

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 347–349, 9 Figs., 1 Ref.

Starting from the main dimensions and the operating parameters by means of a typical representant of a permanently excited d.c. motor of low power the possible increase of the output power by using anisotropic magnetic material and reducing the constructive volume is described. This contribution represents both designing the magnetic circuit and constructing the motor. The operating parameters and the characteristic lines are compared one with another, depending upon the used anisotropic respectively isotropic barium ferrite.

Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.

Theoretical Analysis of the Electric Field of Arbitrary Overhead Transmission Systems — Model Making

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, pp. 350–352, 20 Equations, 6 Refs.

For describing electric fields of arbitrary overhead transmission systems different models respectively methods are illustrated. During selecting a possible implementation to a personal computer (e.g. A 1750 type) was considered. Besides two representing forms for plane fields the use of the equivalent charge method (CSM) for 3-dimensionally computing the electric field of overhead transmission systems including electrically conductable objects (masts, vehicles) is represented briefly. The different analytical description of the field strength vector E for single-phase and multi-phase systems is considered seperately.

Документация

Райхе, Х.; Фогель, Й.

Программное обеспечение VEM prodrive для проектирования электрических приводов — результат научной кооперации

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 325–330, 14 рис., 9 уравн., 18 лит.

На базе новой термической модели для электрических двигателей, так называемой двухкомпонентной модели, разработаны новые методы расчета подогрева обмоток, при помощи которых могут учитываться любые условия эксплуатации. Таким образом, например, обеспечивается и учет различных условий вентиляции приводов с переменной скоростной характеристикой. Обширное использование новых теорий и немедленное внедрение их в практику проектирования обеспечивается посредством пакета программ VEM prodrive.

Хабигер, Э.; Хаммер, В.

Программирование и ввод в эксплуатацию на базе САПР программируемых контроллеров с использованием специальных графических языков, ориентированных на конкретные пользователи

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 330–332, 5 рис., 11 лит.

Сегодня в международном масштабе системы САПР поддерживают программирование, ввод в эксплуатацию, документацию и архивное хранение для программируемых контроллеров, в частности для семейств контроллеров. Исходя из критериев, определяющих эффективность с точки зрения народного хозяйства, представляется первая очередь реализации подобной системы, которая уже оправдала себя в применении в промышленности.

Роте, К.; Херман, Х.-Й.

Цифровая техника защиты в электроэнергетической системе

ELEK TRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 333–336, 7 рис., 12 уравн., 12 лит.

После обсуждения существенных эффектов, достигаемых за счет цифровой защиты, читатель ознакомляется с принципами дискретной обработки сигналов и с основной структурой программного обеспечения. Даются подробные пояснения по основным компонентам необходимого для реализации аппаратного обеспечения для сбора, передачи и обработки измерительных данных.

Ферман, Р.; Кунке, В.; Нойман, Р.

Проектирование и реализация при помощи ЭВМ программного обеспечения для автоматизации

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 337–341, 7 рис., 2 лит.

Представляются системы программ, предназначенные для проектирования и реализации при помощи ЭВМ программного обеспечения для процессов управления и регулирования. Оба компоненты (проектирование и реализация бинарного управления и проектирование и реализация цифровых регуляторов) имеют структуру, позволяющую создавать подходящие решения в виде программ пользователя, произвести предварительное моделирование на системе разработчика и поддерживать ввод в эксплуатацию.

Хофман, Й.; Денисенко, Н. А.; Черненко, П. А.

Вероятностные модели для расчета и оптимизации электроэнергетических установок

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 342–344, 4 рис., 17 уравн., 13 лит.

Для расчета и оптимизации электроэнергетических установок, в целях отображения их физико- технической и экономической характеристик применяются детерминированные, стохастические и стратегические моделу. Предлагается максимизировать вероятность для того, чтобы релевантные экономические критерии выполнялись при том условии, когда все учитываемые критерии нарушились бы в худшем случае только с лимитированной вероятностью.

Шмидт, Х.; Беер, Ф.; Куль, Й.

Математическое моделирование процессов движения, происходящих на вакуумном контакторе EVS

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 344–346, 6 рис., 17 уравн., 2 лит.

Представляется математическая модель для расчета при помощи ЭВМ статической магнитной силы, процесса движения и поведения электрических величин в цепи возбуждения и силовой цепи вакуумных контаткоров. Полученные результаты обсуждаются на примере измерений.

Шульт, У.

Новой маломощный двигатель с возбуждением от постоянного магнита

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 347–349, 9 рис., 1 лит.

Исходя из основных размеров и рабочих параметров, на типовом представителе маломощного двигателя постоянного тока с возбуждением от постоянного магнита поясняется возможное повышение отдачи при уменьшении конструктивного объема за счет применения анизотропного магнитного материала. В статье представлены расчет магнитного контура и конструкция двигателя. Рабочие параметры и характеристики сопоставляются в зависимости от применяемого анизотропного и изотропного, соответственно, материала феррита бария.

Юнгханс, Х.; Винклер, Х.; Сцуба, М.

Теоретический анализ электрического поля любых систем воздушных линий — формирование модели

ELEKTRIE, Берлин 43 (1989) 9, стр. 350–357, 20 уравн., 6 лит.

Поясняются разные модели и методы для описания электрических полей любых систем воздушных линий. При выборе их обратилось внимание на возможность реализации их на персональном компьютере (напр., A 7150). Помимо двух видов изображения плоскостных полей кратко описывается применение метода эквивалентного заряда (CSM) для трехмерного расчета электрического поля систем воздушных линий включая электрически проводящие объекты (мачты, автомашины). Отдельно рассматривается различное аналитическое описание вектора напряженности поля E для однофазных и многофазных систем.

ELEKTRIE

Reiche, H.; Vogel, J.

Projektierungssoftware VEM prodrive für elektrische Antriebe — Ergebnis der Wissenschaftskooperation

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 325–330, 14 Bilder, 9 Gln., 18 Lit.

Auf der Basis eines neuen thermischen Modells für Elektromotoren, des sogenannten Zweikomponentenmodells, wurden neue Berechnungsverfahren für die Wicklungserwärmung erarbeitet, mit denen beliebige Betriebsbedingungen erfaßt werden können. So ist es möglich, auch die unterschiedlichen Belüftungsbedingungen bei drehzahlvariablen Antrieben zu berücksichtigen. Die umfassende Nutzung der neuen Theorien und die umgehende Einführung in die Projektierungspraxis wird über das Softwarepaket VEM prodrive gesichert.

Habiger, E.; Hammer, V.

CAD-basierte Programmierung und Inbetriebnahme speicherprogrammierbarer Steuerungen auf der Grundlage nutzerorientierter graphischer Eingabefachsprachen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 330–332, 5 Bilder, 11 Lit.

International unterstützen heute CAD-Systeme die Programmierung, Inbetriebnahme, Dokumentation und Programmarchivierung für speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), insbesondere für Steuerungsfamilien.
Ausgehend von den aus volkswirtschaftlicher Sicht effektivitätsbestimmenden Kriterien wird eine erste Ausbaustufe eines solchen Systems, die sich bereits im industriellen Einsatz bewährt hat, vorgestellt.

Rothe, K.; Herrmann, H.-J.

Digitale Schutztechnik im Elektroenergiesystem

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 333–336, 7 Bilder, 12 Gln., 12 Lit.

Nach einer Diskussion wesentlicher Effekte, die mit einem digitalen Schutz zu erzielen sind, wird in die Denkweise der diskreten Signalverarbeitung und in die Software-Grundstruktur eingeführt. Die zur Realisierung erforderliche Hardware wird ausführlich in den wesentlichen Komponenten, der Meßwerterfassung, -übertragung und -verarbeitung erläutert.

Fehrmann, R.; Kunke, W.; Neumann, R.

Rechnergestützter Entwurf und Implementierung von Automatisierungssoftware

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 337–341, 7 Bilder, 2 Lit.

Es werden Programmsysteme vorgestellt, die dem rechnergestützten Entwurf und der Implementierung von Steuerungs-/ Regelungssoftware dienen.
Die beiden Komponenten (Binärsteuerungsentwurf und Implementierung und Entwurf und Implementierung digitaler Regler) sind so strukturiert, daß paßfähige Lösungen in Form von Anwenderprogrammen entstehen, eine vorherige Simulation am Entwicklungssystem möglich ist und die Inbetriebnahme unterstützt wird.

Hoffmann, J.; Denisenko, N. A.; Tschernenko, P. A.

Probabilistische Modelle für die Auslegung und Optimierung von Elektroenergieanlagen

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 342–344, 4 Bilder, 17 Gln., 13 Lit.

Für die Auslegung und Optimierung von Elektroenergieanlagen werden zur Abbildung ihres physikalisch-technischen und ökonomischen Verhaltens deterministische, stochastische und strategische Modelle angewendet. Es wird vorgeschlagen, die Wahrscheinlichkeit dafür zu maximieren, daß die relevanten ökonomischen Kriterien unter der Bedingung erfüllt sind, daß alle zu berücksichtigenden Kriterien höchstens mit limitierten Wahrscheinlichkeiten verletzt sein dürfen.

Schmidt, H.; Beer, F.; Kuhl, J.

Mathematische Modellierung der Bewegungsvorgänge am Vakuumschütz EVS

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 344–346, 6 Bilder, 17 Gln., 2 Lit.

Es wird ein mathematisches Modell zur Berechnung der statischen Magnetkraft, des Bewegungsablaufes und des Verhaltens der elektrischen Größen im Erreger- und Hauptstromkreis von Vakuumschützen beim Ein- und Ausschalten mittels EDVA vorgestellt. Die Ergebnisse werden anhand von Messungen diskutiert.

Schult, U.

Neuer permanenterregter Motor kleiner Leistung

ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 347–349, 9 Bilder, 1 Lit.

Ausgehend von den Hauptabmessungen und den Betriebsparametern wird an einem Typvertreter eines permanenterregten Gleichstrommotors kleiner Leistung durch den Einsatz von anisotropem Magnetwerkstoff die mögliche Steigerung der Abgabeleistung bei Reduzierung des Bauvolumens erläutert. Der Beitrag stellt die Auslegung des magnetischen Kreises und die Konstruktion des Motors vor. Die Betriebsparameter und die Kennlinien werden in Abhängigkeit vom eingesetzten anisotropen bzw. isotropen Bariumferrit miteinander verglichen.

Junghans, H.; Winkler, H.; Szuba, M.

Theoretische Analyse des elektrischen Feldes beliebiger Freileitungssysteme — Modellbildung

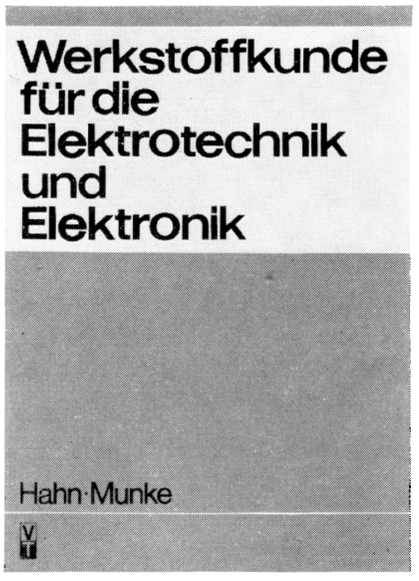
ELEKTRIE, Berlin 43 (1989) 9, S. 350–352, 20 Gln., 6 Lit.

Für die Beschreibung elektrischer Felder beliebiger Freileitungssysteme werden verschiedene Modelle bzw. Verfahren erläutert. Bei der Auswahl wurde Wert auf eine mögliche Implementation auf einem Personalcomputer (z. B. A 7150) gelegt. Neben zwei Darstellungsformen für ebene Felder wird die Anwendung des Ersatzladungsverfahrens (CSM) für die 3-dimensionale Berechnung des elektrischen Feldes von Freileitungssystemen einschließlich elektrisch leitfähiger Objekte (Maste, Fahrzeuge) kurz umrissen. Gesondert wird auf die unterschiedliche analytische Beschreibung des Feldstärkevektors E für Ein- und Mehrphasensysteme eingegangen.

Herausgeber	Kammer der Technik, Fachverband Elektrotechnik
Verlag	VEB Verlag Technik Oranienburger Str. 13/14, Berlin 1020-DDR Telegrammadresse: Technikverlag Berlin Telefon: 28700; Telex: 0112228 techn. dd
Verlagsdirektor	Dipl.-Ing. *Klaus Hieronimus*
Redaktion	Dr.-Ing. *Klaus Heide*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 2870345) Ing. *Günther Barth*, Redakteur (Telefon 2870343)
Lizenz-Nr.	1100 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik
Gesamtherstellung	III/18/328 Messedruck Leipzig, BT Borsdorf Borsdorf 7122
Gestaltung	*Frank Becher*
Anzeigenannahme	Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigenannahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, Oranienburger Str. 13/14, Berlin 1020 PSF 201 Anzeigenpreisliste Nr. 7 Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, Hermann-Duncker-Str. 89, Berlin, DDR-1157
Erfüllungsort und Gerichtsstand	Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig.
AN (EDV)	6730
Erscheinungsweise	monatlich 1 Heft
Heftpreis	2,50 M, Abonnementpreis vierteljährlich 7,50 M. Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen.
Bezugsmöglichkeiten DDR	sämtliche Postämter
SVR Albanien	Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propaganditit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana
VR Bulgarien	Direkzia R. E. P., 11a, Rue Paris, Sofia
VR China	China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P. O. Box 88 Beijing
ČSSR	PNS — Ústřédni Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Slezká 11, 12000 Praha 2 PNS, Ústredna Expedicia a Dovoz Tlače Praha, Posta 022, 88547 Bratislava
SFR Jugoslawien	Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzéće MLADOST, Ilica, 30 4100 Zagreb
Koreanische DVR	CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang
Republik Kuba	Empresa de Comercio, Exterior de Publicationes, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana
VR Polen	C. K. P. i. W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa
SR Rumänien	D. E. P. Bucaresti Piata Scinteii, Bucaresti
UdSSR	Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore
Ungarische VR	P. K. H. I., Külföldi Elöfizetési Osztály. P. O. Box 16, 1426 Budapest
SR Vietnam	XUNHASABA 32, Hai Ba Trung, Ha Noi
BRD und Berlin (West)	ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141–167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, 1000 Berlin (West) 30
Österreich	Helios Literatur-Vertriebs-GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge
Schweiz	Verlagsauslieferung Wissenschaft der Freihofer AG, Weinbergstr. 109, 8033 Zürich
Alle anderen Länder	örtlicher Fachbuchhandel; BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, Leipzig, Postfach 160; DDR-7010 und Leipzig Book Service, Talstraße 29, Leipzig, DDR-7010

Lieferbar in vierter Auflage

Werkstoffkunde für die Elektrotechnik und Elektronik



Von einem Autorenkollektiv unter Leitung
von Dr. phil. Lothar Hahn und
Chem.-Ing. Irene Munke
520 Seiten, 228 Bilder, 224 Tafeln, Leinen,
DDR 30,— M, Ausland 44,— DM.
Bestellangaben: 5530865/Hahn, Werkstoffkunde

Die stürmische Entwicklung in der Elektrotechnik/Elektronik ist ohne eine ebenso schnell fortschreitende Entwicklung in der Werkstoffwissenschaft nicht denkbar.
Neuartige Werkstoffe in Verbindung mit neuartigen Technologien bilden die materielle Grundlage für die moderne Elektrotechnik/Elektronik und erfordern eine enge Zusammenarbeit zwischen Elektroindustrie und Grundstoffindustrie.
Die optimale Werkstoffauswahl gehört heute zu den Kernproblemen bei der Herstellung hochwertiger Erzeugnisse. Dabei sind Auswahl des Werkstoffes, technologische Weiterverarbeitung und Forderungen an das Endprodukt im Zusammenhang zu sehen und aufeinander abzustimmen.
Grundkenntnisse auf dem Gebiet der Werkstoffkunde sind daher für jeden Elektroingenieur notwendig.
In dem vorliegenden Hochschullehrbuch, das nunmehr in der 4. Auflage erschienen ist, wird dieser Forderung weitgehend Rechnung getragen.

Es enthält eine zusammenfassende Darstellung der modernen Werkstoffe der Elektrotechnik/Elektronik, gegliedert nach Anwendungsgebieten (struktureller Aufbau, Eigenschaften, Herstellung, technologische Weiterverarbeitung, Einsatzmöglichkeiten).
Große Aufmerksamkeit widmen die Autoren den technologischen und anwendungstechnischen Werkstofffragen, da diese für den Elektrotechniker häufig wichtiger sind als die Verfahren zur Aufbereitung der Werkstoffe.
Ausführungen über Entwicklungstendenzen runden die gesamte Thematik ab.
Ein umfangreiches Literatur- und Standardverzeichnis bietet die Möglichkeit für tiefgründiges Einarbeiten in Spezialgebiete. Zahlreiche Bilder, Diagramme und Tafeln ergänzen den Text und liefern besonders für den in der Industrie tätigen Ingenieur wertvolle Informationen.
Wenn dieses Buch auch hauptsächlich für Hochschulstudenten und Ingenieure des Elektroingenieurwesens gedacht ist, so wird auch der Werkstoffachmann wichtige Hinweise für die Zusammenarbeit mit dem Elektroingenieur entnehmen können.

Gliederung des Buches:

Einleitung · Mikroeigenschaften der Werkstoffe · Makroeigenschaften der Werkstoffe · Werkstoffe unter Umwelteinflüssen · Leiterwerkstoffe · Halbleiter · Kontaktwerkstoffe · Widerstandswerkstoffe · Magnetische Werkstoffe · Isolierstoffe der Elektrotechnik · Ferroelektrika · Werkstoffe der Vakuum-, der Hochtemperatur- und der Tieftemperaturtechnik · Werkstoffe der Optoelektronik · Verzeichnis der Standards.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VT

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

6730 9 177 027 465
KOMB KERAM WERKE
8612 7001 0136 PF 1

ISSN 0013–5399
ELEKTRIE · Berlin 43 (1989) 9 · S. 321–360

Erstauflagen · Bereits lieferbar

Von Prof. Dr.-Ing. Manfred Kahle. 360 Seiten, 311 Bilder, 30 Tafeln, Leinen, DDR 36,— M, Ausland 56,— DM.
Bestellangaben: 553 894 7/Kahle, Isoliertechnik

Das Fachbuch behandelt die Aufgaben der elektrischen Isoliertechnik, stellt die Beanspruchung der Isolierstoffe dem Isoliervermögen gegenüber, bringt weiterhin Ausführungen zur Diagnose des Isoliervermögens sowie zum Schutz der Isolierstoffe und führt schließlich zu Fragen der Auslegung und Konstruktion von Isolierungen. Dabei wird prinzipiell nicht von bestimmten Erzeugnissen, sondern von Isolierprinzipien mit typischen Auslegungen und konstruktiven Gemeinsamkeiten ausgegangen.

Hauptabschnitte des Buches:

Aufgaben und Bedeutung der elektrischen Isoliertechnik für elektrotechnische Erzeugnisse und Verfahren · Belastung von Isolierungen und Beanspruchung der Isolierstoffe · Isoliervermögen von Isolierungen und deren Einflußgrößen · Schutz der Isolierung und Diagnose des Isoliervermögens · Auslegung, Konstruktion und Technologie von elektrischen Isolierungen.

Von Dr. sc. techn. Christian Hoy, Prof. em. Dr.-Ing. Harald Koettnitz und Prof. Dr. sc. techn. M. V. Kostenko. 240 Seiten, 117 Bilder, 10 Tafeln, Leinen, DDR 33,— M, Ausland 56,— DM.
Bestellangaben: 553 889 1/Hoy, Wellengänge

Hochspannungs(HS)-Freileitungen werden zur Energieübertragung und auch für die Informationsübertragung der Energieversorgung auf Trägerfrequenzbasis genutzt. Die richtige Auslegung der Betriebsmittel und Informationssysteme von HS-Leitungen hat auf die Energieverluste und Übertragungsqualität großen Einfluß. Hierfür sind praktisch anwendbare mathematische Modelle der Freileitung erforderlich, mit deren Hilfe sowohl stationäre Vorgänge als auch schnell verlaufende Ausgleichsvorgänge (Schalt-, Blitzüberspannungen) unter Einsatz der Rechentechnik untersucht werden können. Diese werden in der Monographie vorgestellt.

Hauptabschnitte des Buches:

Beschreibung eingeschwungener sinusförmiger Zustände · Beschreibung schnellverlaufender elektromagnetischer Ausgleichsvorgänge · Praktische Anwendungen.

Im Fachbuchhandel erhältlich

VEB VERLAG TECHNIK BERLIN